حمدى يس الدسوقى

القياسات فى الصناعة





دار المعارف

المعارف التكنولوچية
بإشراف الدكتور أنور عبد الواحد

القياسات في الصناعة

الفيزيائي
حمدي يس الدسوقي



دار المعارف

الناشر : دار المعارف - ١١١٩ كورنيش النيل - القاهرة ج . م . ع .

فهرس المحتويات

الصفحة

الصفحة

الصفحة

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الأول

القياس قديماً وحديثاً

تعتبر المقاييس والأوزان من بين الوسائل الأولى التى ابتكرها الإنسان . فالمجتمعات البدائية وجدت أنها بحاجة إلى مقاييس مختلفة لتنفيذ كثير من الأعمال مثل بناء المساكن وتحديد مساحات الأراضى الزراعية ، ولمقايضة المواد الغذائية والمواد الخام ، ولمراقبة فيضان الأنهار والتحكم فيها ،وغير ذلك من شئون الحياة المختلفة .

وقد أجال الإنسان نظره ، بطبيعة الحال ، فيما حوله . وتأمل نفسه فوجد ضالته فى أجزاء جسمه وفى الظواهر الطبيعية . واتخذ الذراع ، وكف اليد ، والأصبع وغيرها مقاييس للطول ، كما استفاد من شروق الشمس وغروبها ودورة القمر والفصول الأربعة فى استنباط مقياس للزمن ، وتشير النقوش والآثار التى خلفها البابليون ، والمصريون القدماء أن الطول كانت الكمية الأولى التى تم قياسها . واستطاع الإنسان قياس السعة (الحجم) عن طريق ملء إناء بالحبوب ثم سكبها وعدها ، ولما وجد أن تلك الطريقة غير عملية ، ابتكر مكاييل مبنية على أساس وحدة الطول ، وتلا ذلك اختراع الموازين البسيطة واتخذ الأحجار والحبوب أوزاناً (سنجا) لها .

وأخذ كل مجتمع من المجتمعات البشرية ينشىء مقاييسه ويطورها طبقاً لاحتياجاته وحضارته وإمكاناته العلمية . وربما أخذ عن غيره من المجتمعات بعض الوحدات ثم أضاف إليها تبعاً لظروفه . لذلك نشأت نظم لوحدات القياس وتنوعت

وتعددت فى كل دولة . ومن أهم هذه النظم النظامان المترى والإنجليزى .

وقد بذلت محاولات وجهود كبيرة ومضنية لخلق نظام موحد لتلك الوحدات يكون مرجعاً عامًّا لكافة البشر ، ويعتبر فى الوقت ذاته صالحاً لجميع الأغراض العلمية والفنية والتجارية وغيرها . وقد توجت هذه الجهود بنظام يسمى « النظام الدولى لوحدات القياس » . ونجد من المناسب قبل أن نقدم للقارئ تكوين هذا النظام الدولى ، وتعاريف وحداته ومزاياه التى يتفوق بها على كافة النظم الأخرى ، أن نلقى الضوء بإبراز اللمحات الرئيسية لتاريخ وتطور وحدات القياس والجهود المضنية التى أدت إليه .

١ / ١ القياس عند قدماء المصريين :

كان للمصريين القدماء دور بارز فى مجال إنشاء وتطوير وحدات القياس ، فقد كانوا أول من ابتكر نظاماً عشريًّا للمقاييس والأوزان ، وأول من وضع رموزاً محددة للأعداد ١ — ١٠ — ١٠٠ — ١٠٠٠ . كما استخدموا النظام العشرى فى التعبير عن مضاعفات وحدات القياس الأساسية . وكانت أهم وحداتهم ما يلى :

١ — الذراع :

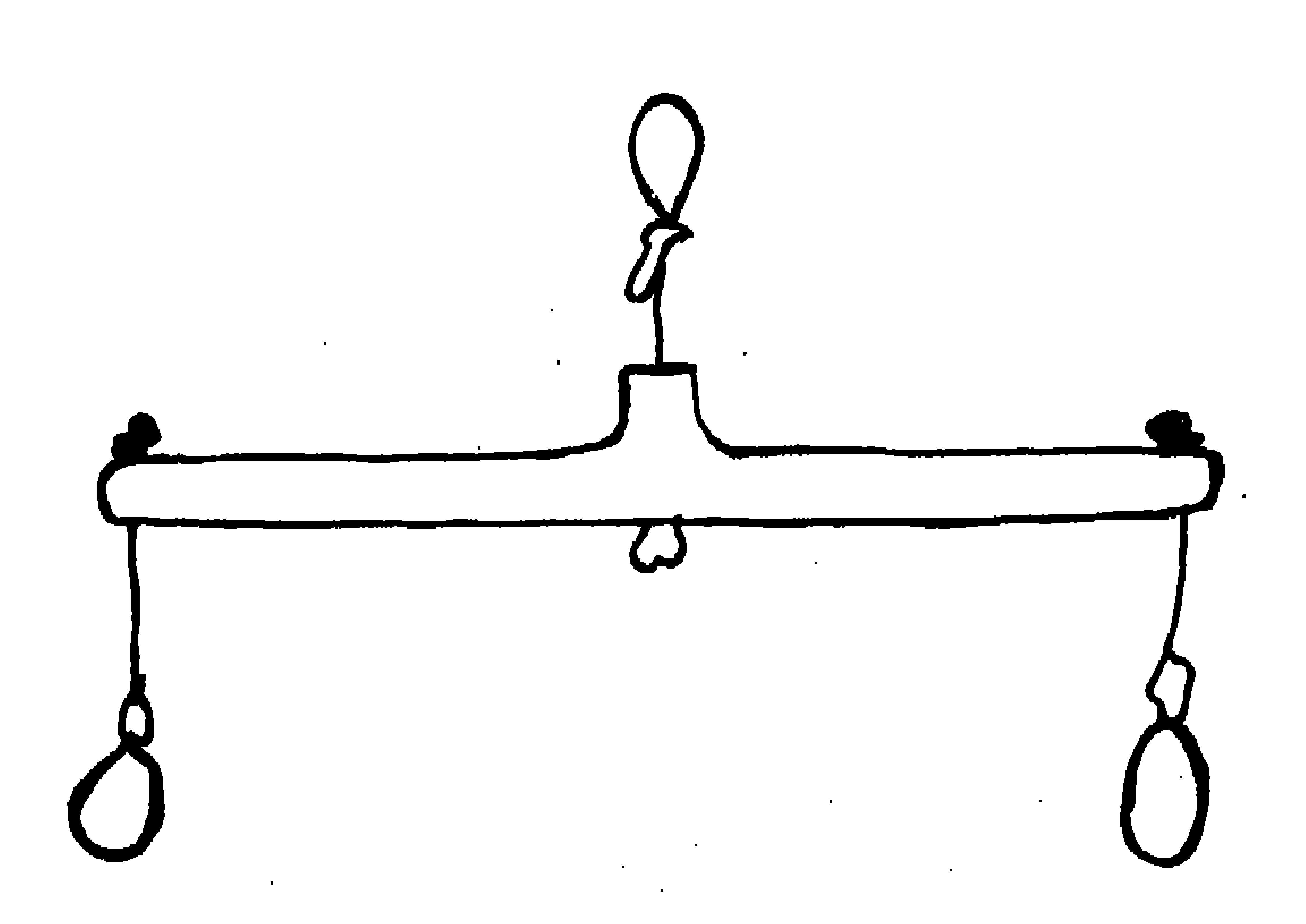
وتساوى ٥٢٩ مم ، اتخذت وحدة أساسية للطول وسميت « مية » وكان التمثيل العملى لها عبارة عن قطعة من الجرانيت الأسود مقسمة إلى ستة أجزاء كل منها يساوى كفًّا سموها « سيشاب » كما قسموا السيشاب إلى أربع أصابع وكل أصبع بالتالى قسم إلى أقسام أصغر . ومضاعفات الذراع هى خت (= ١٠٠ ذراع) .

٢ — السيشت :

وقد اتخذت وحدة لمساحة الأراضى الزراعية وتساوى ختًّا مربعاً (أى ١٠,٠٠٠

ذراع مربع) هذا بالإضافة إلى وحدات أخرى للحجوم والكتلة . وكانت وحدة الحجوم لديهم واسمها «تنات» مقسمة إلى ١٢٨ قسماً متساوياً ، أما وحدات الكتلة فكانت عبارة عن أوزان (سنج) من الرخام . ومما يثير الدهشة والإعجاب حقًّا أن بعض هذه السنج كانت تحتوى على فجوة للضبط (بواسطة معدن الرصاص) وهى ذات الطريقة المتبعة حاليًّا فى ضبط الأوزان عند صناعتها أو معايرتها .

وقد ابتكر المصريون كذلك الموازين . ويوضح الشكل رقم (١) ميزاناً لقدماء المصريين (٥٠٠٠ سنة قبل الميلاد) وجد فى أحد المقابر فى مصر ، وطول قب هذا الميزان حوالى ٨,٥ سم .



الشكل رقم (١)

ميزان قدماء المصريين

وقد كان المصريون أيضاً أول من وضع أساس ما يعرف اليوم بالمترولوجيا أو القياسات القانونية ، إذ أنهم وضعوا نظاماً يقضى بضرورة مراجعة أدوات القياس على المراجع الأساسية لها دوريًا .

١ / ٢ القياس عند الرومان :

وكما كان للمصريين دور رائد فى ابتكار وتطوير وحدات للقياس وصناعة أدواته ، فقد كانت للرومان مساهمات قيمة فى هذا المجال . ذلك أنهم أول من استعمل الألواح ذات الفتحات فى قياس كميات الماء الموزعة على المنازل ، كما أنهم كانوا أول من استعمل الطريقة الاثنى عشرية فى العد ، وقد قسموا الـ « بس » ، أى القدم الرومانية ، إلى اثنى عشر قسماً سموا كلا منها «أونصيه» ومنها اشتقت » فيما بعد ، الكلمتان «أنش أى بوصة» و«الأونس» أى أوقية . وقد استعمل الرومان وحدة لقياس الطول مساوية ٥٠٠٠ قدم وهى الميل ، كما استعمل الرومان أيضاً « الليبرة » أى الباوند أو الرطل وحدة أساسية للوزن ووحدة « أمفورا » وتساوى قدماً مكعبة فى قياس الحجوم ، أما وحدة المساحة لديهم فكانت تسمى «جوجيرم» وبالإضافة إلى ذلك فقد كانت لهم وحدات أخرى لا يتسع المقام لسردها .

١ / ٣ القياس عند الأوربيين :

أخذ الأوربيون عن الرومان وحداتهم ، غير أن تطور المجتمعات ، بعد سقوط الإمبراطورية الرومانية ، أدى إلى ظهور أوزان ومقاييس محلية خاصة بها مما أوجد كثيراً من اللبس .

وفى عام ٧٨٩ م أصدر الملك «شارلمان» مرسوماً يقضى بتوحيد المقاييس فى جميع البلاد الواقعة تحت سلطانه ، ولكن لسوء الحظ فشلت هذه المحاولة واستمر الوضع بالنسبة للمقاييس على ما هو عليه من تعدد وارتباك ، وذلك رغم محاولات

أخرى بذلت لتوحيدها فى القرنين الخامس عشر والسادس عشر.

وفى عام ١٦٧٠ ابتكر الفرنسيون وحدة لقياس الأطوال «توازدى شاتيليه» ، وهى تساوى ستة أمثال قدم الملك، وكانت هذه القدم الملكية تعادل ٣٢,٥ سم ،ومنه اشتقت البوصة بالقسمة على ١٢ واللنية بالقسمة على ١٤٤ ، والنقطة بالقسمة على ١٧٢٨ . وفى القرن السادس عشر اتخذ الإنجليز «الباوند» وحدة لقياس الوزن ، ويعادل ٤٥٣ جم ، ومنه اشتقت الأونس (أى الأوقية) . كما اتخذوا الياردة وحدة للطول وهى تساوى ثلاث أقدام ، والقدم تساوى ١٢ بوصة . والياردة والباوند هما أساس النظام الإنجليزى للوحدات .

١ / ٤ نشأة النظام المترى :

قام بعض العلماء الفرنسيين فى عام ١٧٤٢ م بإجراء دراسة لمقارنة وحدات القياس الباريسية بنظيراتها المستخدمة فى إنجلترا ، واتضح من هذه المقارنة أن القدم الفرنسية تزيد على القدم الإنجليزية بحوالى ٦ ٪ ، وأيضاً يزيد الرطل الفرنسى على مثيله الإنجليزى بحوالى ٨ ٪ ، فاتجه هؤلاء العلماء للبحث عن وحدة ثابتة لا تنتمى لأية دولة بحيث يمكن اتخاذها أساساً لبناء نظام للقياس عالمى الصبغة . وفى هذا الصدد قدم اقتراحان لاختيار وحدة الطول ، وكان الاقتراح الأول هو اتخاذ طول البندول الذى زمن دورته يساوى ثانية واحدة وحدة لقياس الطول ، أما الاقتراح الثانى فهو أن تكون وحدة الطول هى طول جزء معين من خط الطول للكرة الأرضية .

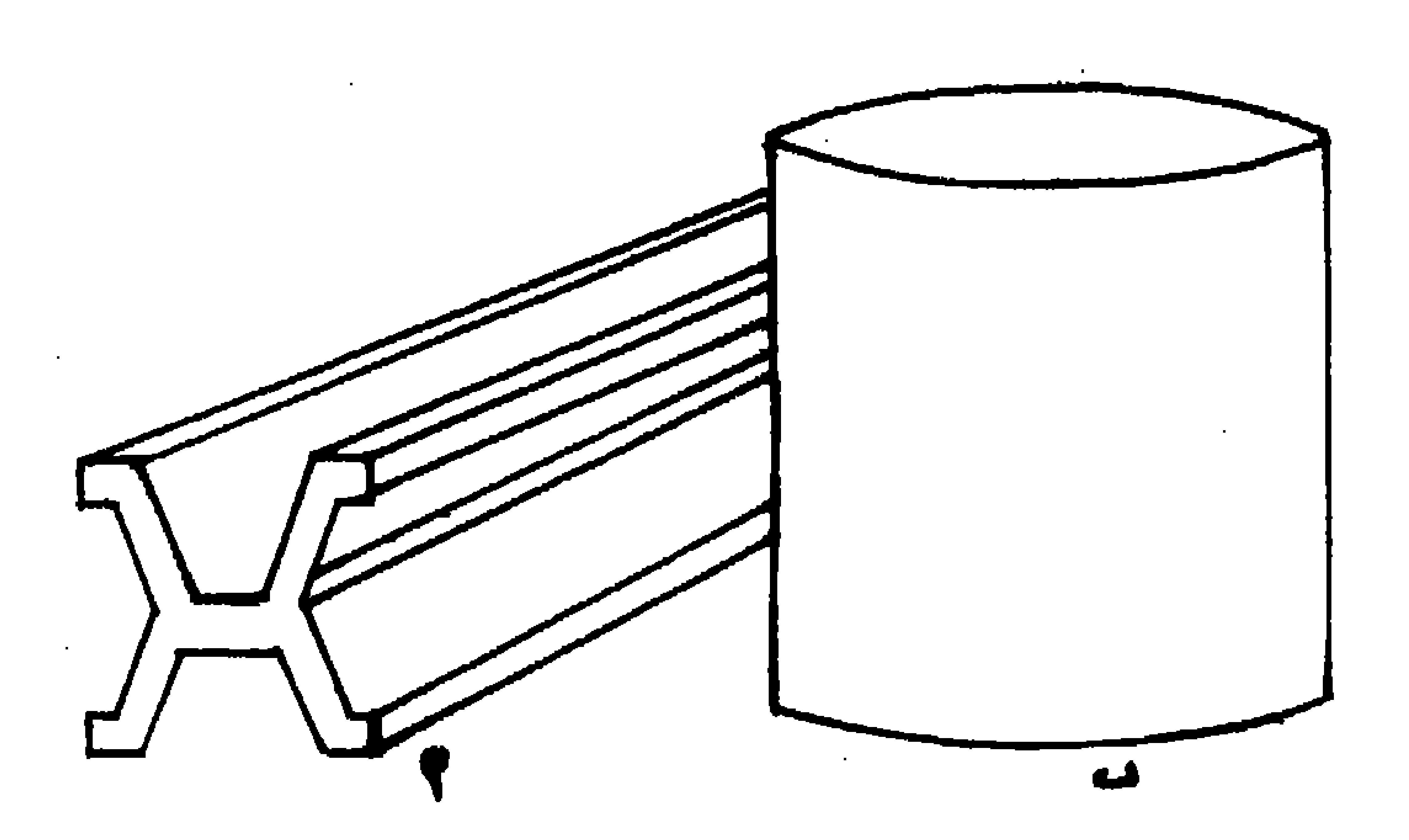
وفى عام ١٧٩٠ طلب العلامة الفرنسى «تاليراند» من أكاديمية العلوم دراسة الاقتراحين المشار إليهما ، فرفضت الأكاديمية الاقتراح الأول لأن طول البندول يعتمد على جاذبية الأرض وبالتالى فإن الوحدة المبنية على طول البندول لن تكون ثابتة بل سوف تتغير من مكان لآخر على سطح الكرة الأرضية وأيدت الأكاديمية الاقتراح

الثانى وبناء على توصية منها أنشئ نظام لوحدات القياس ، وعرف المتر بأنه الطول الذى يساوى جزءاً من عشرة ملايين جزء من طول ربع خط الطول . وتكون وحدتا المساحة والحجوم فى هذا النظام هما المتر المربع والمتر المكعب على التوالى . وعرف الكيلو جرام بأنه كتلة ديسيمتر مكعب من الماء عند ٤م وللحصول على مضاعفات أجزاء الوحدات الأساسية ، فقد تقرر استعمال بادئات عشرية مثل كيلو(= ١٠٠٠) وهكتور «= ١٠٠) ، وديكا(=١٠» وديسى (٠,١) وسنتى (٠,٠١) . وملى(= ٠,٠٠٠١) . . إلخ . تلحق بالوحدات الأساسية ، فمثلا للتعبير عن ١٠٠٠ متر يقال كيلو متر أما ٠,٠٠١ متر فيقال لها مليمتر . وهكذا .

ونظراً الأن هذا النظام الجديد ، كما رأينا ، قد بنى على المتر فقد سمى النظام المترى ، ولو عم استعمال هذا النظام لكان كفيلاً بأن يمنع حدوث كثير من المتاعب والجهود فى مجالات الحياة المختلفة سواء العملية أو العلمية أو التكنولوجية أو الاقتصادية وغيرها . غير أنه لسوء الحظ لما عرض هذا النظام على الأمريكيين والبريطانيين رفضوا قبوله بحجة أنه نظام غير عملى ، وأضاعوا بذلك فرصة ذهبية لتناسق أعمال القياس فى العالم وتوحيدها ، واستمروا بعد ذلك فى اشتقاق وحدات قياس خاصة بهم . وبعد أن تم الاتفاق على أسس النظام المترى وجهت الجهود بقيادة العالمين «دى لامبر» و «ميشان» لقياس قوس خط الطول فيما بين دنكرك وبرشلونة حتى يمكن تحديد طول المتر وتمثيله عملياً ، وفى الوقت ذاته قام الكيميائى «لافوازييه» بقياسات دقيقة لإيجاد وزن (أو كتلة) حجم معين من الماء ، وأمكن نتيجة هذه الجهود جميعاً بناء أمام طرفى من البلاتين يمثل المتر ، وآخر من البلاتين أيضاً يمثل الكيلوجرام ، وأودع هذان الإمامان فى ٢٢ يونية ١٧٩٩ فى دار المحفوظات الفرنسية بباريس وهما يعتبران نقطة البدء الأساسية فى تطوير النظام الدولى لوحدات القياس .

وقد أدخل النظام المترى فى عدد من الدول ، ففى عام ١٨٦٤ م سمح باستخدامه إلى جانب النظام الإنجليزى فى بريطانيا . وبعد ذلك بثلاث سنوات التقى عدد كبير من

علماء العالم فى معرض دولى فحفزهم ما شاهدوه من تطور صناعى كبير إلى إنشاء لجنة للأوزان والمقاييس والنقود بهدف خلق تجانس أكبر فى مجالات الأوزان والمقاييس والنقود فى العالم . ودعت الحكومة الفرنسية عدداً من الدول لإيفاد مندوبين عنها لاجتماع دولى بشأن النظام المترى ، وأدى ذلك لإنشاء «اتفاقية المتر» عام ١٨٧٥ م التى تقرر بموجبها عمل نسخ من المتر والكيلوجرام الموجودين بدار المحفوظات الفرنسية لتوزيعها على الدول المختلفة ، وقد تم ذلك بالفعل عام ١٨٩٩ وأودع المكتب الدولى للأوزان والمقاييس بباريس نموذجان : أحدهما للمتر والآخر للكيلوجرام ، وتقرر اعتبارهما المرجع الأساسى للقياس فى النظام المترى، ويوضح الشكل رقم(٢) رسماً لهذين الإمامين ، والمتر الإمامى عبارة عن قضيب خطى ذى مقطع على شكل حرف X ، أما الكيلوجرام فهو عبارة عن أسطوانة قطرها يساوى ارتفاعها (=٣٩ مم) .



الشكل رقم (٢)

(ا) المتر الأمامى .
(ب) الكيلو جرام الأمامى .
(المقاس الأمامى مساو للمقاس الطبيعى)

مر النظام المترى بعد إنشائه بتطورات أدت إلى ظهور عدة أشكال منه ، فقد ظهر نظام السنتيمتر – الجرام – الثانية ، الذى يشار له اختصاراً بـ سم جم ث ، ويستخدمه الفيزيائيون فى المجالات العلمية ، وكذا نظام المتر – الكيلوجرام – الثانية ، الذى يرمز له بـم كجم ث ، للاستعمال فى المجالات العلمية ثم نظام المتر–الطن–الثانية للاستعمال فى مجالات الصناعات الثقيلة ، وفى مطلع هذا القرن اقترح «جورجى جيوفانى» العالم الإيطالى إضافة وحدة كهربائية (الأوم أو الأمبير) إلى نظام م . كجم . ث حتى يصبح هذا النظام صالحاً لجميع القياسات الميكانيكية والكهربائية والمغنطيسية ، وبعد تردد استمر نحو ٣٤ عاماً أخذ العلماء باقتراح جورجى واتخذ الأمبير وحدة رابعة .

١/٥ النظام الدولى لوحدات القياس :

اتجه العالم بعد الحرب العالمية الثانية إلى تعميق الترابط والتعاون بين الدول ، واتخاذ كل ما يؤدى إلى تحقيق تفاهم دولى أفضل فى المجالات الصناعية والعلمية والتكنولوجية والتجارية وغيرها ، ومن أهم الوسائل التى تؤدى إلى تلك الغاية وجود نظام عام لوحدات القياس يكون مقبولاً من المجتمع الدولى . وبدراسة موقف وحدات القياس على الصعيد الدولى وجد أن هناك عدة نظم لوحدات القياس ، فالنظام المترى بأشكاله المختلفة سم . جم . ث ، م . كجم . ث ، م . طن . ث تستخدم فى الدول المترية بالإضافة إلى وحدات أخرى محلية ، كما أن النظام الإنجليزى مستخدم فى إنجلترا ومستعمراتها السابقة وفى الولايات المتحدة ، وأن وحداته ، وإن كانت تنتمى لنظام واحد ، إلا أن قيمها لم تكن واحدة فى كل من إنجلترا وأمريكا . كذلك فقد كان من الضرورى إيجاد نظام موحد ليستعمل فى العالم كله ، وقد أدت الجهود المبذولة فى هذا السبيل إلى تبنى نظام سمى «النظام الدولى لوحدات القياس» .

تكوين النظام الدولى لوحدات القياس :

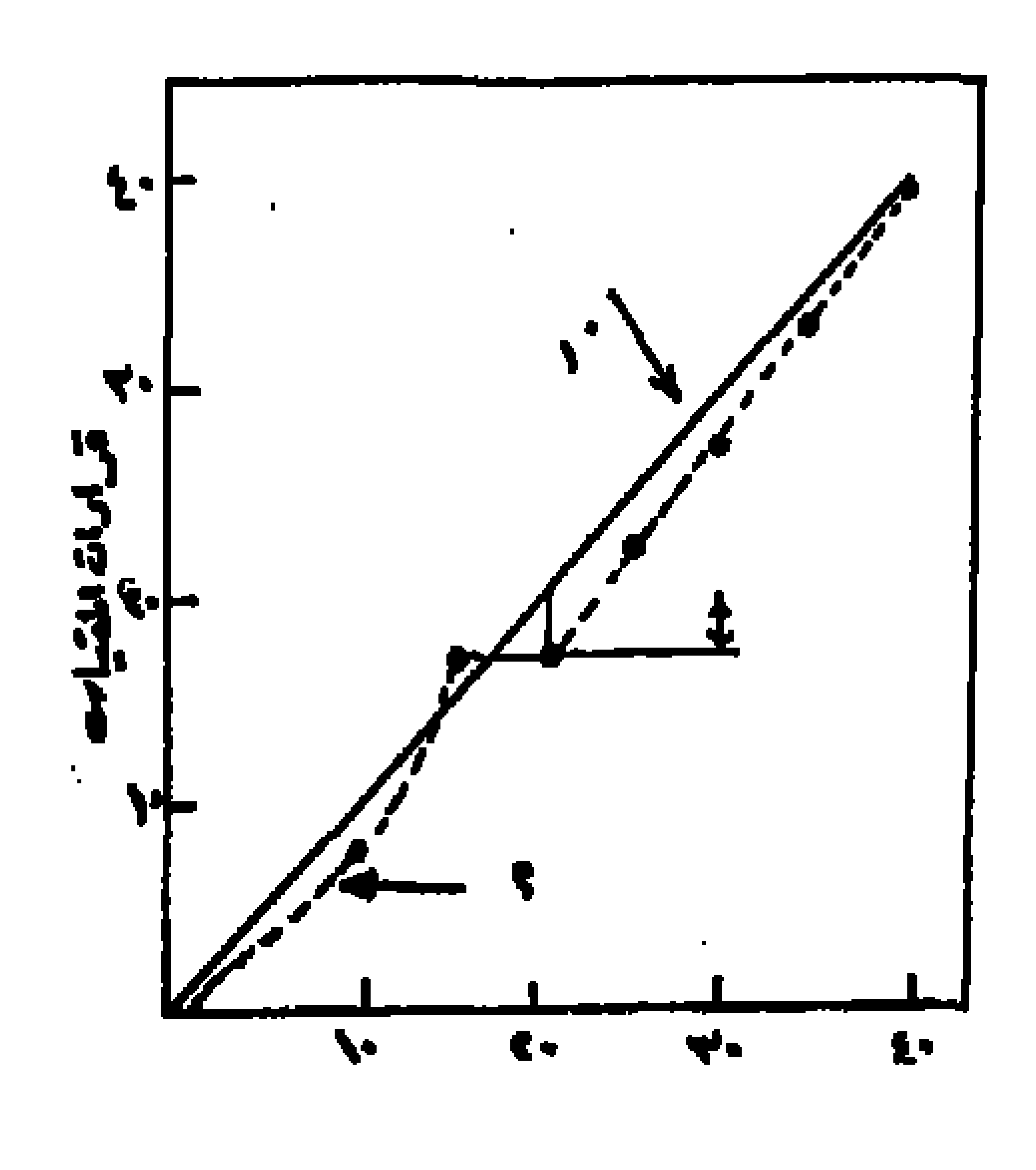
يتكون النظام الدولى لوحدات القياس من ثلاث مجموعات من وحدات القياس

تسمى المجموعة الأولى منها «الوحدات الأساسية» وتتكون من سبع وحدات هى المتر (وحدة الطول) والكيلو جرام (وحدة الكتلة) والثانية (وحدة الزمن) والأمبير (وحدة للتيار) والقنديلة (لشدة الإضاءة) والكلفن (لدرجة الحرارة الديناميكية) والجزىء الجرامى (المول) لكمية المادة . أما المجموعة الثانية فهى عبارة عن وحدتين هما الزاوية نصف القطرية (راديان) وحدة للزاوية المستوية والزاوية نصف القطرية المجسمة (ستراديان) وحدة للزاوية المجسمة وتسمى هذه المجموعة الوحدات المكملة ، أما المجموعة الثالثة فهى تضم وحدات تشتق من الوحدات الأساسية بالضرب أو القسمة لكميتين أساسيتين أو أكثر وتسمى هذه المجموعة الوحدات المشتقة .

ويتفوق النظام الدولى لوحدات القياس على النظم الأخرى بميزات أهمها ما يلى :

١ – أنه نظام دولى موصى به ، ومن ثم فهو لغة مشتركة لجميع الدول ، وأنه صالح لجميع المجالات ، وهو بهذا نظام يربط بين جميع الاهتمامات المختلفة مما يجعله وسيلة هامة من وسائل التقييس العالمى .

٢ – توجد بين وحدات هذا النظام المشتقة والأساسية علاقات بسيطة فمثلاً وحدة السرعة = ١ م / ث ، ووحدة القوة = ١ كجم . م / ث . . . إلخ . ويلاحظ فى هذه الأمثلة اختفاء المعاملات العددية التى كانت توجد فى ظل النظم الأخرى للوحدات ، وهذه الميزة تيسر إجراء الحسابات اللازمة للتصميم أو معالجة نتائج القياسات .





الشكل رقم (٣)

القيم الناتجة (المعايرة) .
منحنى التصحيح للأخطاء الإستاتيكية .
(١) التدريج المعاير (قيم حقيقية) .
(٢) خط قراءات الجهاز .
(٣) خطأ إستاتيكى عند قيمة حقيقية ٢٠ .

الباب الثانى

مصطلحات وتعاريف اساسية

يزخر علم القياس بالكثير من المصطلحات التى تتعلق بالكميات التى يتم قياسها وبأجهزة القياس مثل التدريج ومداه واتساعه ، وطول قسم التدريج وقيمته وغير ذلك من المصطلحات التى تصف أجهزة القياس أو أداءها أو نتائج القياس بها مثل الدقة والضباطة والحساسية والقابليه للقراءة والاستجابة وقدرة التحليل . ومن المصطلحات أيضاً ما يتعلق بتوصيف مستويات أجهزة القياس وتصنيفها تبعاً لدقتها إلى أئمة ومرابط ومراجع وقدود القياس .

وبعض هذه المصطلحات قد تبدو – لغير المتخصصين فى القياس – متداخلة أو متشابهة ، فمثلاً يلاحظ أن هناك لبساً بين مفهومى الدقة والضباطة أو بين مدى التدريج واتساعه أو بين الحساسية والقابلية للقراءة . . إلخ . لذلك فقد وجدنا من المناسب أن نفرد هذا الباب لتناول أهم المصطلحات الأساسية المستخدمة فى علم القياس والتى سيرد ذكرها فيما سيلى من أبواب هذا الكتاب حيث نعطى تعريفاً لها أو معناها مع أمثلة توضيحية لها .

الكمية الفيزيائية :

الكمية الفيزيائية تكون إما خاصية أو صفة لجسم أو لشدة ظاهرة ما . وبصفة عامة فإن الكمية تكون عرضة للتغير ، فمثلاً من الكميات التى تصف قضيباً من الصلب نجد الطول والعرض والسمك والحجم ودرجة الحرارة والسعة الحرارية له ، ومن المعلوم أن أية زيادة فى الكمية الخامسة (أى درجة الحرارة) تؤدى إلى تغير فيما سبقها من

كميات . وجدير بالذكر أن نتيجة القياس لأية كمية مهما كانت دقة الجهاز المستخدم تكون تقريبية ولا يمكن الحصول مطلقاً على القيمة الحقيقية للكمية ، ولكن يمكن الحصول على قيمة تقترب من القيمة الحقيقية بدرجة كبيرة .

مقاس الكمية الفيزيائية :

مقاس الكمية الفيزيائية هو عدد مرات احتواء هذه الكمية لكمية أخرى من ذات النوع تسمى وحدة القياس .

مثال :

إذا كان طول منتج معين يناظر ثلاثة أمثال مسطرة طولها متر فإنه يقال إن طول المنتج ٣ م .

التدريج :

هو مجموعة الخطوط أو أية علامات أخرى تتيح تقدير موضع وسيلة البيان . وإذا كانت هذه العلامات مكونة من أرقام تبين مباشرة قيمة الكمية المقيسة فيوصف التدريج بأنه تدريج رقمى .

طول قسم التدريج :

هو طول الخط المستقيم أو المنحنى المقيس على طول أساس التدريج والمحصور بين محورى علامتين أو خطين متتاليين .

قيمة قسم التدريج :

تعرف قيمة قسم التدريج بالنسبة لجهاز القياس الذى يشتمل على تدريج بأنها التغير فى

قيمة الكمية المقيسة المناظرة لطول قسم التدريج ، وبالنسبة لجهاز قياس ذى بيان عددى تكون قيمة قسم التدريج هى الفرق بين بيانين متتاليين .

مثال :

بصفة عامة تكون قيمة قسم التدريج فى الموازين نصف الأوتوماتية المستخدمة فى المحلات التجارية هى ٥ جم . وقيمة قسم التدريج هى دقيقة واحدة فى ساعة ذات بيان عددى تبين الوقت بالساعات والدقائق فى صورة أعداد صحيحة متعاقبة تظهر على التوالى من نافذة .

مدى التدريج واتساع التدريج :

يكون المدى من أقل قيمة بالتدريج إلى أكبر قيمة عليه . أما اتساع التدريج فهو الفرق بين أكبر قيمة بالتدريج وأصغر قيمة به .

مثال :

إذا كان لدينا ترمومتر معاير يقيس درجات الحرارة من صفر إلى ١٠٠° م .

فإن اتساع تدريجه = ١٠٠ − ٠ = ١٠٠° م

أما مداه فهو من صفر إلى ١٠٠° م

وإذا كان الترمومتر يقيس درجات الحرارة من ١٠ إلى ٥٠° م

فإن اتساع تدريجه = ٥٠ − ١٠ = ٤٠° م

ومدى تدريجه هو من ١٠° م إلى ٥٠° م

خطأ القياس :

هو الفرق العددى بين القيمة التى يبينها الجهاز (أو القيمة المقيسة) والقيمة الحقيقية .

الدقة :

دقة القياس لجهاز أومقياس هى درجة أو مدى اقتراب القراءة الناتجة منه من القيمة الحقيقية للكمية المقيسة أو من قيمة الأمام المستخدم ، وتعبر دقة القياس عن درجة الخطأ فى النتيجة النهائية.

وإحدى طرق التعبير عن الدقة تكون بالنص على أن جهاز القياس دقيق لأقرب مقدار معين (بالزيادة أو النقص) أو ± نسبة مئوية معينة عند نقطة معينة على التدريج أو فيما بين نقاط محددة على التدريج .

مثال :

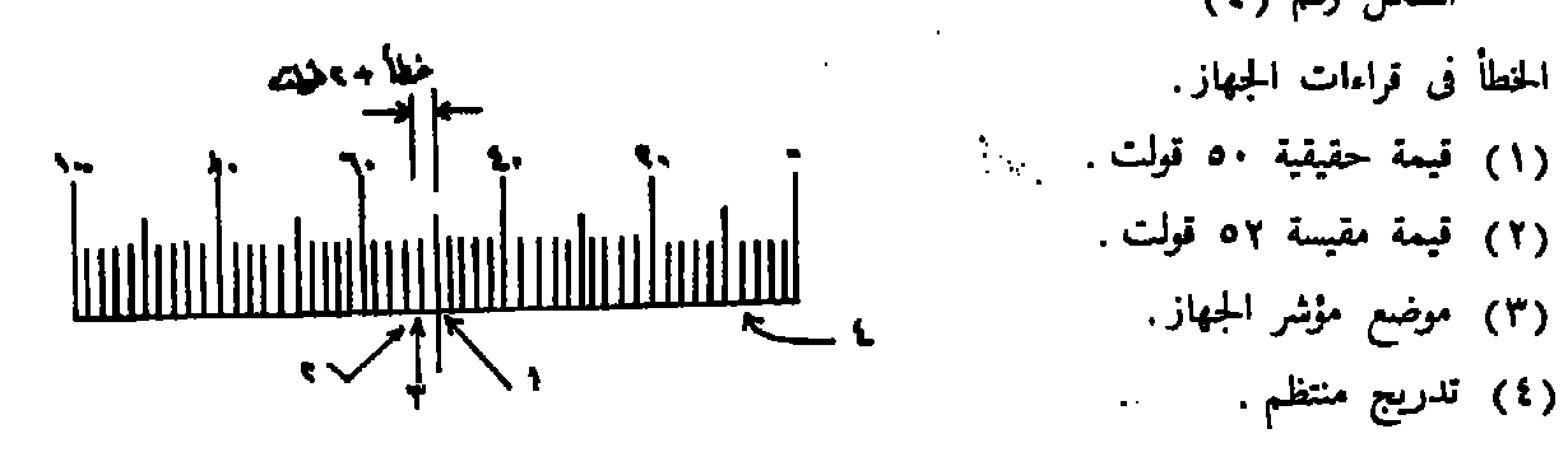
يمكن وصف ترمومتر بأن خطأه لا يتعدى ± ٠,٥° م فيما بين ١٠٠° ، ٢٠٠° م .

ويوضح المثال العددى الثانى تعريف الدقة .

- ترمومتر يعطى قراءة مقدارها ٤٨° م عند وضعه فى حمام ماء درجة حرارته ٥٠° م ، ويعطى قراءة مقدارها ٩٨° م عند وضعه فى حمام ماء درجة حرارته ١٠٠° م . احسب الخطأ النسبى أو اللا دقة عند كل من النقطتين ٤٨ ، ٩٨° م .

الخطأ النسبى عند النقطة الأولى = $\frac{٥٠ - ٤٨}{٥٠}$ = ٠,٠٤ أو ٤ ٪

الخطأ النسبى عند النقطة الثانية = $\frac{١٠٠ - ٩٨}{١٠٠}$ = ٠,٠٢ أو ٢ ٪



الشكل رقم (٤)
الخطأ فى قراءات الجهاز .
(١) قيمة حقيقية ٥٠ ڤولت .
(٢) قيمة مقيسة ٥٢ ڤولت .
(٣) موضع مؤشر الجهاز .
(٤) تدريج منتظم .

الضباطة :

هى درجة اتفاق فئة أو مجموعة من القياسات فيما بينها .

وتجدر الإشارة إلى أنه تكون هناك حاجة للدقة فى القياس فى حالات كثيرة ، وفى حالات أخرى تكون الحاجة للضباطة ، فعلى سبيل المثال فى إجراء قياسات البلانيمتر فإن اهتمامنا الرئيسى ينحصر عادة فى مقارنة المساحات بالنسبة لبعضها ، ولا يهم أن تكون وحدة المساحة السنتيمتر المربع أو البوصة المربعة ، ولذلك تكون الحاجة فقط إلى ضباطة القياسات ، إذ أن المطلوب أن تتفق القياسات فيما بينها . ولكن إذا استخدم البلانيمتر للحصول على مساحات أراض من صور فوتوغرافية فإن حاجتنا تكون أكثر إلى دقة القياسات ، وهكذا فإن المتطلبات هى التى تحدد نوع الخاصية (الدقة أو الضباطة) المناسبة .

وكمثال آخر لتوضيح الفرق بين الدقة والضباطة نذكر ما يلى :

إذا أردنا تجهيز قطعة خشب لتكون رفاً فى دولاب فإنه لا يهمنا إذا كان المتر أو المسطرة المستخدمة فى تحديد مقاس الرف دقيقة أم غير دقيقة ما دمنا سوف نستخدم نفس المسطرة فى قياس بعد الدولاب الذى ستركب عليه قطعة الخشب وكذلك قياس قطعة الخشب ذاتها . ولكن الأمر يختلف إذا أردنا أن نطلب من مستودع للخشب تجهيز القطعة المطلوبة ، إذ أنه فى هذه الحالة لابد أن تتوفر لنا درجة ثقة معقولة بأن وسيلة القياس المستخدمة بالمستودع تتفق مع دقتها مع مسطرتنا التى استخدمناها فى قياس الرف .

وبصفة عامة فإنه عندما نقوم بتجميع منتج مركب من مكونات أو أجزاء مصنعة فى عدد من الشركات أو المصانع فإن الدقة فى أجهزة القياس المستخدمة فى تصنيع المفردات تكون لازمة لكى تتوافق أجزاء المنتج . وإذا كانت التفاوتات المسموح بها فى أبعاد الأجزاء ضيقة فإنه يفضل صناعتها جميعاً فى مصنع واحد حيث يمكن تحقيق المطلوب بواسطة توفر ضباطة القياس .

الحساسية والقابلية للقراءة :

يحدث كثير من اللبس بين مفهومى الحساسية والقابلية للقراءة ومفهومى الدقة والضباطة ، فالحساسية والقابلية للقراءة تتعلقان بالأجهزة ذاتها بينما تتعلق الدقة والضباطة بالقياس . والجهاز الأكثر حساسية أو الأكبر قابلية للقراءة ليس بالضرورة هو الجهاز الذى يعطى نتائج مضبوطة أو دقيقة للغاية .

وتعرف الحساسية بأنها قدرة الجهاز أو وسيلة القياس على كشف الفروق الصغيرة فى الكمية المقيسة ويمكن التعبير عن الحساسية (ح) بالمعادلة التالية :

$$ح = \frac{ف}{ك}$$

حيث ف إزاحة صغيرة للمؤشر ، ك التغير فى الكمية المقيسة المسبب للإزاحة ف .

وتعتبر الحساسية إحدى الخصائص الهامة لجهاز القياس وهى تعتمد على التصميم .

وتعرف القابلية للقراءة بأنها قابلية بيانات جهاز القياس للتحويل إلى رقم ذى معنى ، فمثلاً الورنية فى ميكرومتر القياس تجعل بياناته أكثر قابلية للقراءة ، وأيضاً فإن الخطوط الدقيقة المتجاورة على مسطرة مدرجة تجعل تدريجها أكثر قابلية للقراءة فى حالة استخدام مجهر ولكنها فى الوقت ذاته قد تفسد قابليتها للقراءة بالنسبة للعين المجردة .

إمام القياس :

جهاز علمى يقع فى القمة من حيث الدقة ، ويسمى إماماً دولياً إذا كان ضمن أئمة القياس المحفوظة فى المكتب الدولى للأوزان والمقاييس بسيفر (إحدى ضواحى باريس) ويسمى إماماً وطنياً إذا كان محفوظاً فى معمل قومى فزيائى أو ما يناظره بإحدى الدول . ويعاير الإمام الوطنى على الإمام الدولى .

مربط القياس :

هو جهاز يلى إمام القياس من حيث الدقة ويتم استخدامه فى ضبط ومعايرة مرجع

القياس الذى يستخدم فى المصنع أو الشركة . ويحفظ المربط فى المعمل القومى الفيزيائى للدولة عادة ويستخدم فى معايرة مراجع القياس .

مرجع القياس :

جهاز أو معدة أو أداة قياس تعاير عليها القدود الإمامية الخاصة بالشركات والمصانع .

قد إمامى :

جهاز أو أداة قياس تستعمل فى المصنع لمعايرة قدود التفتيش والقياس .

قد التفتيش :

جهاز أو أداة قياس يستعمل فى القياسات النهائية للتفتيش على المنتجات المصنعة .

قد العمل :

جهاز أو أداة قياس مستخدم فى القياسات الخاصة بالمنتجات أثناء التصنيع .

الباب الثالث

قياس درجة الحرارة

وربما يمكن القول إن درجة الحرارة هي أكثر المتغيرات التي يتم قياسها والتحكم فيها في الصناعة ، وتوجد صناعات كثيرة تحتل فيها قياسات درجة الحرارة مكانة حساسة . ففي صناعة الصلب على سبيل المثال فإن درجة الحرارة التي يسخن إليها الصلب السائل في فرن المجمرة المكشوفة (طريقة سيمنز مارتن) تؤثر على المنتج النهائي من عدة وجوه ، فالأوكسجين وهو أحد المركبات المؤثرة في الصلب تزداد قابليته للذوبان في المعدن بشدة مع ارتفاع درجة الحرارة ، وأيضاً فإن معدل التفاعلات الكيميائية في الصلب السائل ذاته وفيما بين الصلب السائل والخبث تزداد زيادة مطردة مع ازدياد درجة الحرارة . كما أن فصل المكونات الضئيلة عند التجميد والبناء البلوري للصلب الجامد وطبيعة سطح العينة تتأثر بدرجة حرارة السائل في الفرن .

وبصفة عامة تزيد سرعة معظم التفاعلات الكيميائية بازدياد درجة الحرارة . وينطبق ذلك بصفة خاصة على التفاعلات العضوية حيث يزداد معدل هذه التفاعلات بحوالي ثلاثة أمثال عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار ١٠°م فقط . وأيضاً فإن العمليات الحيوية لا تتم إلا في نطاق ضيق من درجات الحرارة يقع حول ٤٠ درجة مئوية .

٣/١ أسس قياس درجة الحرارة :

تقاس درجة الحرارة باستغلال أحد التأثيرات التي يحدثها تغير درجة الحرارة في المواد وهي :

(١) تغير أبعاد المادة «التمدد أو الانكماش»

(٢) تغير الحالة الفيزيائية للمواد كانصهار المواد الصلبة أو تجمد السوائل ، وتغير ضغط الغازات والسوائل .

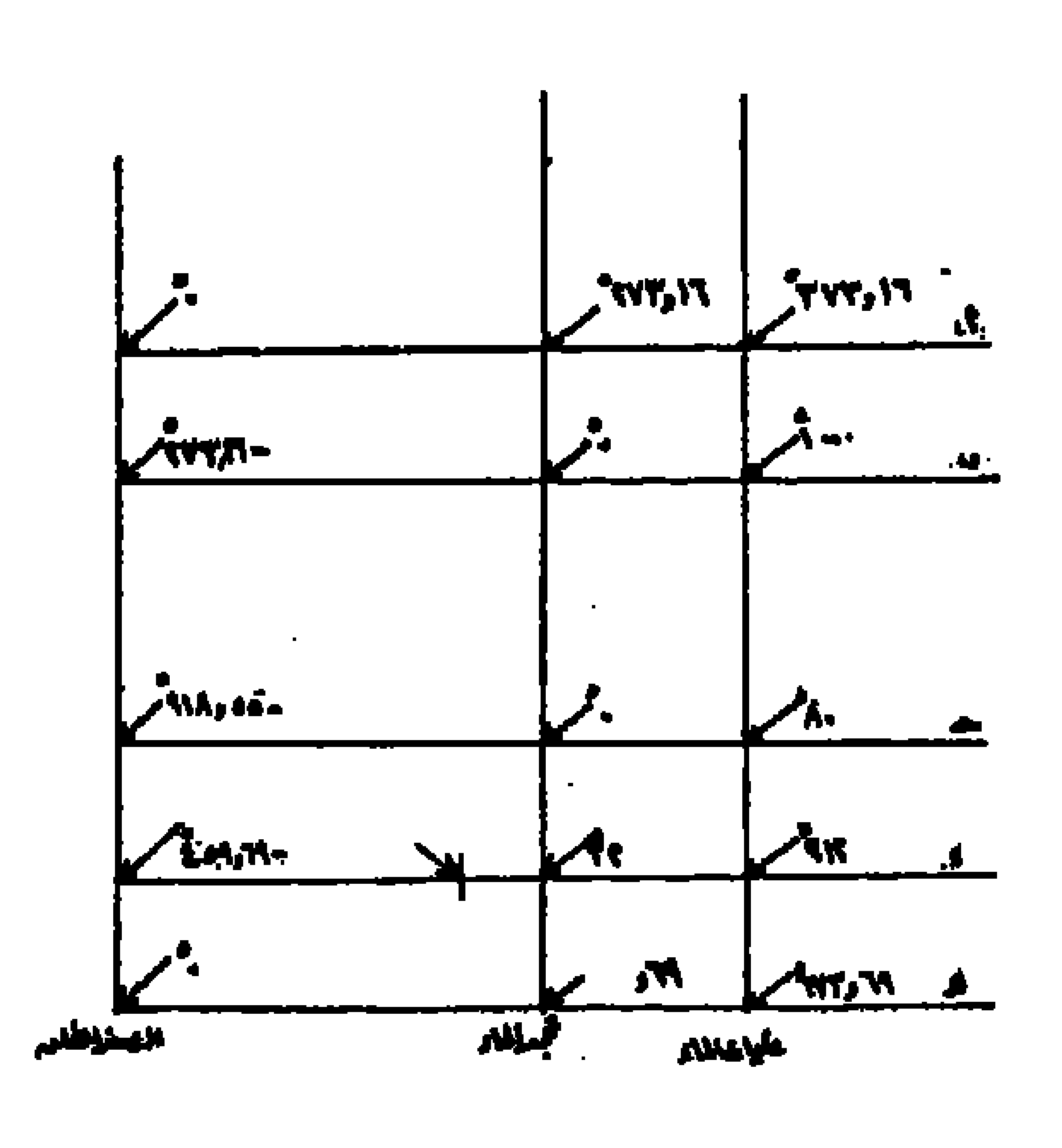
(٣) تغير الجهد أو المقاومة فى الدوائر الكهربائية .

(٤) تغير ألوان بعض المواد كالطلاءات نتيجة لتغير الحالة الكيميائية لها .

(٥) تغير فى القدرة الإشعاعية .

٢/٣ مقاييس درجة الحرارة :

يوجد عدد من مقاييس درجة الحرارة ، غير أن أكثرها شيوعاً المقياس المئوى أو مقياس «سلسيوس» الذى تم الحصول عليه باعتبار نقطة الغليان للماء ١٠٠ ، ونقطة تجمد الماء صفراً ، والمسافة بينهما مقسمة إلى مائة قسم كل منها يساوى درجة مئوية واحدة . وقد تم تحديد نقطة الصفر المطلق (وهى درجة الحرارة التى لا يكون للغاز الكامل عندها أى ضغط على الوعاء المحتوى له) فوجد أنها تساوى− ٢٧٣,١٦°م ولذلك فقد استعمل مقياس مطلق ، صفره يساوى− ٢٧٣,١٦°م ، ودرجته تساوى



شكل رقم (٥)

(خمسة مقاييس لدرجات الحرارة) .

(أ) كلفن (ك) .

(ب) سلسيوس أو مئوى (°م) .

(جـ) رومير (°ر) .

(د) فهرنهيت (°ف) .

(هـ) رانكن (°ر) .

°م ، ونقطة الثلج تناظر ٢٧٣,١٦°م على هذا المقياس ونقطة (البخار) تناظر ٣٧٣,١٦°م. ويطلق على هذا المقياس اسم مقياس كلفن نسبة إلى العلامة اللورد «كلفن» .

ويوضح الشكل رقم (٥) خمسة مقاييس لدرجة الحرارة هى المقياس المئوى ، المقياس الفهرنهيتى ، ومقياس كلفن ، ومقياس رومير ، ومقياس رانكن وقيمة ثلاث نقط على كل منها .

٣/٣ أجهزة قياس درجة الحرارة :

توجد أجهزة كثيرة لقياس درجة الحرارة ، ويمكن تصنيف هذه الأجهزة تبعاً لطبيعة التغير الذى يحدث فى الجسم المختبر نتيجة لتغير درجة حرارته ، إلى التالى :

٣/٣/١ ترمومترات التمدد وتشمل مقاييس درجة الحرارة بدلالة تمدد جسم صلب (ترمومترات ثنائية المعدن ، الثرموستات) أو تمدد سائل (ترمومترات سائل فى زجاج ، ترمومترات سائل فى معدن) أو تمدد غاز (ترمومترات الغاز) .

٣/٣/٢ ترمومترات تغير الحالة (ترمومترات ضغط البخار) .

٣/٣/٣ الطرق الكهربائية لقياس درجة الحرارة (ترمومتر المقاومة الكهربائية ، الترمستور ، المزدوجات الحرارية) .

٣/٣/٤ ترمومترات الإشعاع الكامل والبيرومترات البصرية .

٣/٤ ترمومترات التمدد :

٣/٤/١ تمدد الأجسام الصلبة :

٣/٤/١/١ الترمومترات ثنائية المعدن :

تستخدم الترمومترات ثنائية المعدن بكثرة فى قياس درجات الحرارة فى كثير من التطبيقات الصناعية . وأساس عمل هذه الترمومترات أن المعادن تتمدد أو تنكمش بتغير درجة الحرارة وأن معامل تمددها ليس واحداً ، وإنما يختلف من معدن لآخر. وهذا

الاختلاف تتم الإفادة منه فى الحصول على انحرافات تتناسب مع تغير درجة الحرارة ، وذلك عن طريق لحام شريحتين من معدنين مختلفين ، مثل الأنفار والنحاس الأصفر، بحيث يكونان كابولاً على شكل حلزون أو لولب وعندما تتغير درجة الحرارة فإنهما ينحنيان تجاه المعدن ذى التمدد الأقل ، ويتناسب هذا الانحناء عكسياً مع سمك المعدن ، وطردياً مع كل من ثابت الانحناء (الذى يعتمد على نوعى المعدنين المستخدمين) ، والتغير فى درجة الحرارة ومربع طول الشريحتين .

ويفضل استخدام مادة الأنفار فى صنع الشريحة ذات معامل التمدد الحرارى الصغير ، وذلك لأن الأنفار مادة مستقرة فى مدى واسع من درجات الحرارة .

وتستعمل سبائك الحديد/النيكل المضاف إليها قليل من الكروم أوالمنجنيز ، لصنع شريحة ذات معامل تمدد حرارى كبير . وتزود بعض الترمومترات ثنائية المعدن بسيقان ذات أطوال مختلفة تناسب أعماق الغمر المختلفة ويكون قرصها المدرج ذا قطر يتراوح بين ١٢,٥ سم من نوع ثابت أو قابل للضغط . ومدى هذه الترمومترات من – ١٢٠ إلى ٥٤٠°م ويوصى باستخدام هذه الترمومترات لقياس درجات حرارة تقل عن ٤٣٠°م إذا كانت تعرض لفترة طويلة ، ويمكن تغيير مدى القياس باستعمال مواد مختلفة أو بتغيير طول العنصر الحساس ، ويكون العنصر الحساس قصيراً إذا أريد الحصول على مدى واسع من درجات الحرارة . وتتحدد حساسية الترمومتر بالخصائص الفزيائية للحلزون وأبعاده ، أما دقته فهى تعتمد على التصميم ، وظروف الوسط الذى تتم فيه القياسات ، والغمر المناسب للساق ودقة المعايرة للترمومتر بالإضافة إلى استقرار العنصر الحساس وكفاءة مستخدم الترمومتر .

ويتوقف زمن استجابة الترمومترات ثنائية المعدن على ظروف الاستخدام . فهو يكون فى حدود ثلاث ثوان بالنسبة للترمومترات عالية الجودة الموضوعة فى حمام جيد التقليب ويمكن للصانع التحكم فى استجابة الترمومتر بتغيير حجم العنصر الحساس ، وباختيار مادة ناقلة للحرارة مناسبة للاستعمال بين العنصر الحساس وغلاف الترمومتر .

ملاحظات حول استخدام الترمومتر ثنائي المعدن :

١ – يراعى غمر ساق الترمومتر بحيث يصل العنصر الحساس له إلى الوسط الذى تقاس درجة حرارته ، ويجب تقليل انتقال الحرارة إلى الجزء غير المغمور من الساق بقدر الإمكان حتى لا يؤدى ذلك إلى خطأ فى قراءات الترمومتر ، ويتوقف عمق الغمر المناسب على كل من مادة الساق ، وطول العنصر الحساس ، ودرجة حرارة وظروف الوسط المحيط وبعض الترمومترات من هذا النوع مصممة لتناسب الاستخدام فى ظروف الاهتزاز والصدمات ، فمنها ، على سبيل المثال ، ما يصلح للعمل تحت اهتزازات تزيد على ١٠٠ هرتز (أى تهتز بتردد يزيد على ١٠٠ دورة فى الثانية الواحدة) وعجلة تصل إلى ٩٨ م/ث[٢] (عشرة أمثال عجلة جاذبية الأرض) ولكن غالبية الأنواع الأخرى من الترمومترات ثنائية المعدن تتأثر بالصدمات والاهتزازات الشديدة التى قد تشوه العنصر الحساس مؤدية بذلك إلى خطأ فيما تعطيه من قراءات . وفى بعض الحالات قد لا يتأثر الاستقرار الحرارى للعنصر ، ذلك إذا لم يكن التشوه الناتج قد أدى إلى حدوث احتكاك فى أجزائه .

٢ – يراعى دائماً قبل استعمال الترمومتر اختيار المكان الذى تولج فيه بصيلة الترمومتر بحيث يتعرض الترمومتر إلى أقل حد ممكن من الصدمات والاهتزازات .

٣ – إذا لم يتحرك مؤشر الترمومتر بحرية ولوحظ أنه يقفز من نقطة إلى أخرى عندما تتغير درجة الحرارة يوقف استعماله ولا يعول على قراءاته .

٤ – يجب دائماً الطرق بخفة على الترمومتر قبل أخذ قراءته .

٥ – يراعى إدخال التصحيحات المناسبة على القراءات المأخوذة ويتم ذلك باستعمال قيم التصحيحات من منحنى المعايرة الخاص به . ولا تطبق تصحيحات نقطة التجمد والنقط الأخرى المفردة على جميع النقط الأخرى على تدريجه .

مزايا وعيوب الترمومتر ثنائى المعدن :

يتميز الترمومتر ثنائى المعدن بأنه خفيف الوزن ، وقليل التكاليف ، وسهل القراءة والضبط . ولا يحتاج عنصره الحساس إلى سوائل أوغازات ، ووصلاته قصيرة ، ولا يحتاج إلا إلى قليل من أعمال الصيانة . ويعيب هذا الترمومتر أنه يتلف بالصدمات والاهتزاز تلفاً مستتراً لا يستطيع مستخدمه كشفه بسهولة ، وأيضاً فإن قراءته تصير صعبة فى حالة اهتزاز مؤشره بشدة .

٣ / ٤ / ١ / ٢ الثرموستات :

الثرموستات عبارة عن وسيلة للتحكم فى درجة الحرارة وهو يعمل طبقاً لنفس مبدأ عمل الترمومترات ثنائية المعدن . ويتكون الجزء الحساس لدرجة الحرارة فى الثرموستات من قضيب من الأنفار ، داخل أنبوبة من النحاس الأصفر والطرف السفلى لقضيب الأنفار ملحوم جيداً بأنبوبة النحاس ، وعندما ترتفع درجة حرارة القضيب والأنبوبة فإن الأنبوبة النحاسية تتمدد أكثر من قضيب الأنفار (معامل التمدد للنحاس يساوى ١٩ × ١٠^-٦ وللأنفار ١,٥ × ١٠^-٦) ، فيتغير وضع الطرف الحر للقضيب بالنسبة لطرف الأنبوبة ، ويستعمل هذا التغير فى الوضع النسبى للطرفين المشارإليهما ، لتشغيل مفتاح حساس ذى فرجة صغيرة . ويعتمد التغير فى درجة الحرارة اللازم لتغيير وضع المفتاح من حالة الوصل إلى الفصل على طول الساق المكونة من القضيب والأنبوبة ، وكلما زاد هذا الطول كان التغير فى درجة الحرارة المطلوب صغيرا . ويمكن ضبط جزء المفتاح المرتبط بقضيب الأنفار بواسطة زر صغير بحيث تقطع الكهرباء الداخلة للمسخن عندما تبلغ درجة حرارة الثرموستات قيمة معينة محددة سلفاً .

وعندما يكون التيار اللازم لتشغيل مسخن كهربائى أكبر من ٢٠ أمبيراً عند جهد متردد قيمته ٢٥٠ فولتا فإن مفتاح الثرموستات يستعمل عادة لتشغيل مرحل يقوم بالتالى بتشغيل المسخن ، ويمكن بهذه الطريقة التحكم فى أحمال تسخين كبيرة دون إتلاف ملامسات مفتاح الثرموستات .

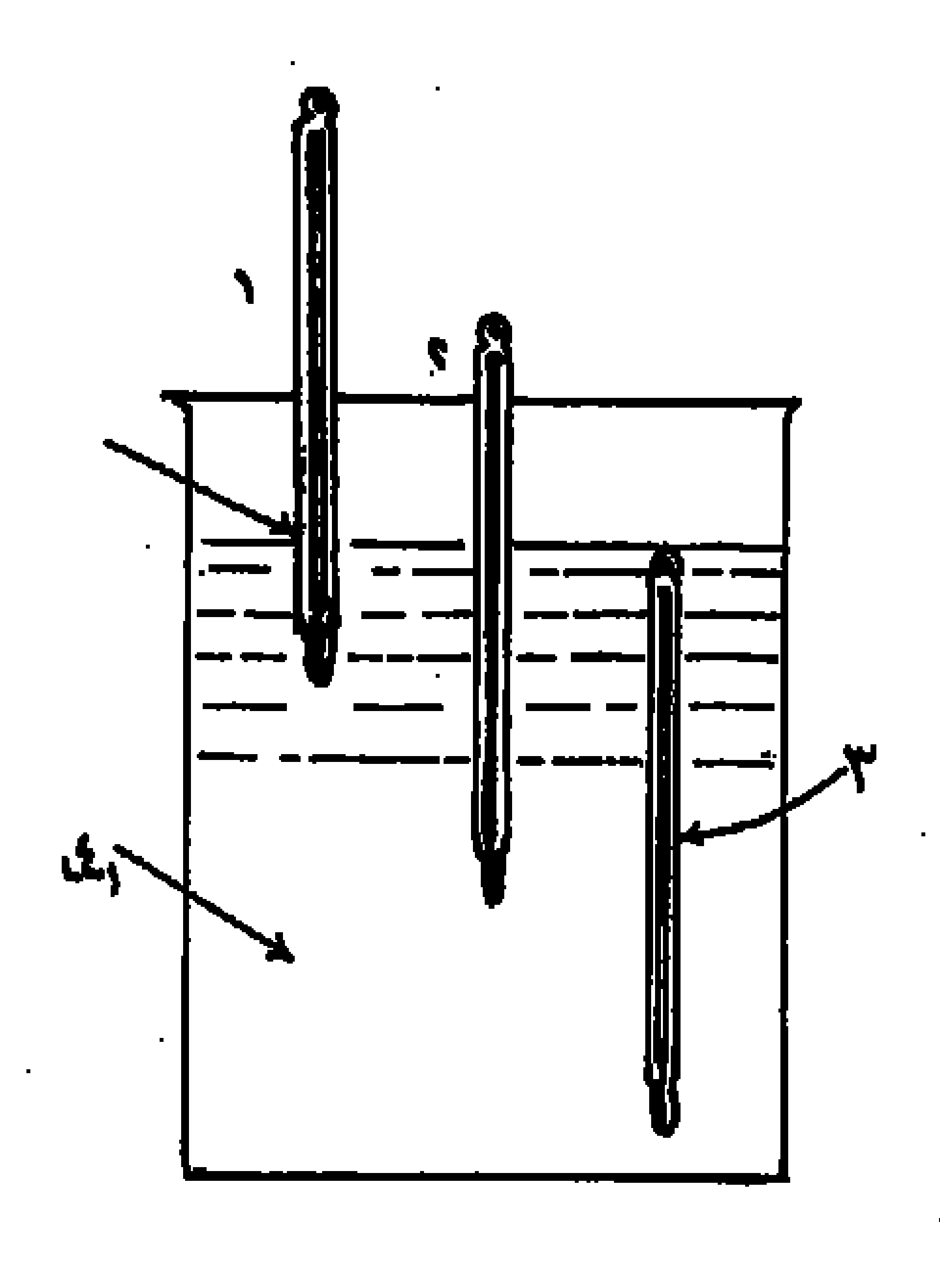
٣ / ٤ / ٢ تمدد السوائل :

٣ / ٤ / ٢ / ١ الترمومترات الزجاجية :

يتكون الترمومتر الزجاجي من بصيلة زجاجية ذات جدار رقيق ، متصل بساق على هيئة أنبوبة شعرية مغلقة عند طرفها الآخر ، وتملأ البصيلة وجزء من الساق بسائل ، ويملأ باقى الساق ببخار السائل ذاته أو بمزيج من بخار السائل وغاز خامل . ويوجد على الساق أوحوله تدريج من درجات الحرارة ، ويعطى طرف عمود السائل عند قراءته على هذا التدريج قيمة درجة حرارة البصيلة . وتغطى هذه الترمومترات مدى درجات الحرارة ما بين- ١١٠°م ، ١٢٠٠°م .

وتنقسم الترمومترات الزجاجية إلى ثلاثة أقسام هى :

(١) ترمومترات الغمر الجزئى (شكل رقم ٦) وهى الترمومترات المصممة بحيث تعطى درجات الحرارة الصحيحة عندما تعرض بصيلاتها وجزء محدد من عمود السائل بها لدرجة الحرارة المطلوب قياسها ، وفى الوقت ذاته يكون الجزء الباقى من عمود السائل والغاز الموجود فوقه معرضين لدرجة حرارة مساوية لدرجة الحرارة المقيسة أومختلفة عنها .



الشكل رقم (٦)

(١) ترمومتر غمر جزئى .
(٢) ترمومتر غمر كلى .
(٣) ترمومتر تام الغمر .
(٤) سائل .

(٢) ترمومترات الغمر الكلى (شكل رقم ٦) وهى ترمومترات تعطى درجة الحرارة الصحيحة عندما تكون بصيلة الترمومتر وعمود السائل به معرضين جميعاً لدرجة الحرارة المطلوب قياسها .

(٣) ترمومترات تامة الغمر : هى ترمومترات تعطى درجة الحرارة الصحيحة عند تعريضها بجميع أجزائها لدرجة الحرارة المطلوب قياسها (شكل ٦) .

أساس عمل الترمومترات الزجاجية :

تعتمد الترمومترات الزجاجية فى عملها على خاصية تمدد الأجسام بالحرارة وانكماشها بالبرودة ، ونظراً لأن معامل تمدد السوائل أكبر من تمدد البصيلة ، فإن أية زيادة فى درجة حرارة بصيلة الترمومتر تؤدى إلى دفع بعض السائل من البصيلة إلى الأنبوبة الشعرية فيحدث تغير ملحوظ فى وضع طرف عمود السائل بها . وتشكل ساق الترمومتر عادة بحيث تعمل كعدسة مكبرة بعرض عمود السائل .

أنواع الترمومترات الزجاجية :

يمكن تصنيف الترمومترات الزجاجية إلى أربعة أصناف رئيسية كالتالى :

(١) الترمومترات المعملية :

هى ترمومترات يكون التدريج محفوراً على سيقانها مباشرة ، وتوضح خطوط التدريج وعلاماته بواسطة مادة ملونة تلتصق بالسطح المحفور.

(٢) الترمومترات الصناعية :

وهى ترمومترات تستخدم فى الأغراض الصناعية المختلفة . وفى هذا النوع من الترمومترات تكون البصيلة وجزء من الساق داخل أنبوبة معدنية ، ويكون التدريج

محفوراً أومنقوشاً على لوحة معدنية مثبتة داخل غلاف معدنى من فتحة من الزجاج ليمكن رؤية التدريج وقراءته من خلالها . والترمومترات الصناعية تختلف من حيث الطول ونوع الغلاف ، وبعضها تكون فيه البصيلة ليست على امتداد الأنبوبة الشعرية ولكنها تكون معها زاوية مقدارها ٩٠° أو ١٨٠° ، أو أية قيمة أخرى ، بحيث تناسب التطبيقات الصناعية المختلفة .

(٣) الترمومترات ذات الأنبوبة والتدريج :

بعض الترمومترات تكون ذات تدريج منقوش على قطعة من الورق العادى أو المقوى أوالزجاج الذى يربط بطريقة مناسبة إلى الساق ويكون هذا التدريج داخل غلاف زجاجى لصيانته . وأفضل ترمومترات هذا النوع هى التى لا تكون بصيلاتها داخل غلاف .

ويوجد نوع خاص من هذه الترمومترات يعرف باسم ترمومتر بكمان الفرق ، وهويصنع عادة بمدى قصير ٥ مْ مثلاً . ويكون تدريجه مقسماً إلى ٠,٠١ °م . ويمكن تغيير مداه طبقاً لرغبة مستخدمه بواسطة تغيير كمية الزئبق فى البصيلة ، ويوجد بترمومتر بكمان خزان علوى يحتوى على الزئبق الزائد . ويستعمل ترمومتر بكمان كثيراً فى القياسات الحرارية وبخاصة فى طريقة الكبسولة للوقود . وبالإضافة إلى ترمومتر بكمان توجد أشكال مختلفة من الترمومترات ذات الأنبوبة والتدريج ، فمنها مثلاً ترمومترات يكون فيها التدريج مطبوعاً على خلفية من الخشب أو المعدن أوالبلاستيك تثبت فيها الأنبوبة ويستعمل هذا النوع لقياس درجات حرارة الهواء فى داخل المبانى أوفى الخلاء .

(٤) الترمومترات المسجلة :

شملت جميع الأنواع الثلاثة السابقة ترمومترات تتطلب قيام شخص بقراءتها عند تعريضها لدرجة الحرارة المقيسة ولكن توجد ترمومترات تستعمل فى قياس درجات

حرارة الوسط (المطلوب قياس درجة حرارته) فى الحالات التى لا يمكن رصد قراءاتها وهى معرضة لدرجة الحرارة المقيسة، ولكن يتم قراءتها بعد إخراجها من هذا الوسط. وتعرف هذه الترمومترات باسم الترمومترات المسجلة.

وبعض هذه الترمومترات يعطى درجة الحرارة القصوى التى تعرضت لها، ويتكون السائل فيها من سبيكة زئبق- ثاليوم والحيز الذى يقع أعلاها مفرغ، ويوجد أعلى بصيلتها اختناق يسمح للسائل بالمرور إلى الساق، والارتفاع فيه تبعاً لدرجات الحرارة التى تعرض لها البصيلة، ولكن هذاالاختناق يمنع السائل من العودة إلى البصيلة، إلا إذا تم هزه بشدة. وتشمل الترمومترات المسجلة ترمومترات تسجل أدنى درجة حرارة تعرض لها وهى تكون فى العادة مملوءة بالكحول وتستخدم وهى موضوعة أفقياً ويحتوى الترمومتر مؤشراً مغموراً فى السائل ويحمل هذا المؤشر باتجاه البصيلة بالقوى السطحية فى نهاية عمود السائل عندما تهبط درجة الحرارة، ولكنه يظل فى مكانه عندما ترتفع درجة الحرارة، ولإعادة استخدام الترمومتر يعاد المؤشر إلى وضعه بإمالة البصيلة قليلاً إلى أعلى، وأخيراً فإنه يوجد قسم من الترمومترات المسجلة يجمع بين النوعين المسجلين السابقين فيعطى أقصى وأدنى درجة ويعرف باسم ترمومتر «سكس» وهو على شكل حرف u وله مؤشران أحدهما لأقصى درجة حرارة والآخر لأدنى درجة حرارة.

مواد صنع الترمومترات الزجاجية:

الزجاج: تختار المواد التى تصنع منها الترمومترات بحيث تعطى أفضل خصائص فى الأداء، ويراعى أن تكون مادة البصيلة متوافقة مع مادة الساق بحيث يمكن وصلهما معاً بوصلة قوية، ويجب ألا تطرى مادتاهما، ولا تكون زائدة الهشاشية فى مدى درجات الحرارة الخاص بالترمومتر. ويجب أن يكون تكوين البصيلة بصفة خاصة بحيث تصل إلى الاستقرار البعدى بالمعالجة الحرارية أما المادة التى يصنع منها ساق الترمومتر فيجب أن تكون طيعة قابلة للسحب حتى يمكن تحويلها إلى أنبوبة شعرية مع المحافظة على

انتظام مقطعها بدرجة كبيرة .

ويتوقف مدى الترمومتر الزجاجي على نوع الزجاج والسائل ، ويوضح الجدول رقم (١) الحد الأعلى الآمن لعدد من أنواع الزجاج المستخدمة فى صناعة الترمومترات .

السوائل : يجب أن تكون السوائل عالية النقاوة لضمان ثبات تمددها . وفى الحالة المثالية لا يبلل السائل جدران الأنبوبة ويتصف الزئبق وسبائكه مع الثاليوم بهذه الصفة .

الجدول رقم (١)

الحد الأعلى لدرجات الحرارة لأنواع الزجاج المستخدم فى الترمومترات

المـــادة	الحـد الأعلى لدرجة الحرارة	
	عند التعرض المستمر درجة مئوية	عند التعرض المتقطع درجة مئوية
زجاج كورننج ٧٥٦٠	٣٧٠	٤٣٠
زجاج كمبل	٣٦٠	٤٢٠
يينا ١٦ – ٣	٣٦٥	٤٢٥
كورننج بوروسيليكات ٨٨٠٠	٤٠٠	٤٦٠
يينو بوروسيليكات ٢٩٥٤	٤٢٠	٤٨٠
كورننج ١٧٢٠	٥٤٠	٦٠٠
يينا سوبر ماكس ٢٩٥٥	٥٣٥	٥٩٥

وإذا استخدم سائل عضوى فيجب اختيار السائل بحيث يبلل الجدران بانتظام وبأقل قدر ممكن من إمساك الأغشية عندما تنزل درجة الحرارة ، ويجب أن تكون السوائل مستقرة كيميائيًّا بحيث يسهل تلوينها بالصبغات الخفيفة الثابتة . ويوضح الجدول رقم (٢) مدى درجات حرارة التشغيل للسوائل شائعة الاستخدام :

الجدول رقم (٢)

مدى درجات حرارة التشغيل للسوائل شائعة الاستخدام

المـــــادة	المدى (°م)
زئبق	– ٣٩ إلى ٦٢٠
زئبق / ثاليوم	– ٤٨ إلى ١٢١
سوائل عضوية	– ٢٠٠ إلى ٢٣٢

الغازات :

عند استعمال غاز فوق السائل فإنه يجب أن يكون خاملا بالنسبة لهذا السائل فلا يتفاعل معه . والنيتروجين وثانى أكسيد الكربون غازان شائعاً لاستخدام لهذا الغرض . وعادة يستعمل الهيدروجين مع سبائك الزئبق–الثاليوم . ويعتبر الهواء غازاً خاملاً بدرجة كافية بالنسبة للسوائل العضوية ويجب أن يكون ضغط الغاز عالياً بحيث يكفى لتقليل تبخر السائل إلى أدنى قدر ممكن عند أية درجة حرارة واقعة فى مدى استعمال الترمومتر .

المعادن :

تستخدم معادن مختلفة فى صنع البصيلات وأكثر المعادن شيوعاً فى الاستخدام

الصلب والصلب الذى لا يصدأ والنحاس ، كما يستخدم النحاس والألومنيوم فى صنع الغلاف ، وتحتوى بصيلة الترمومتر عادة على وسط ناقل للحرارة مثل الزئبق ، وتراب (مسحوق) النحاس والجرافيت والفضة . ويتوقف اختيار أى منها على مدى قياس الترمومتر ونوع مادة البصيلة .

خصائص الترمومترات :

تعتمد حساسية الترمومترات الزجاجية على مساحة مقطع الأنبوبة الشعرية وعلى النسبة بين هذه المساحة وحجم البصيلة ، أما ضباطة القياسات المأخوذة بواسطة الترمومترات السائلية فإنها تعتمد على تصميمها ، والظروف التى تجرى فيها هذه القياسات بالإضافة إلى العناية المبذولة فى أخذ القراءات . وتعتمد دقة القياسات أيضاً على نفس العوامل التى تؤثر فى الضباطة بالإضافة إلى دقة معايرة الترمومتر . وتكون دقة معايرة الترمومتر بالنسبة للأنواع جيدة التصميم ، دالة لكل من المدى وأصغر قسم بالتدريج .

الاعتبارات الأساسية عند استعمال الترمومترات الزجاجية السائلية :

يراعى أخذ ما يلى فى الاعتبار عند استعمال ترمومترات زجاجية سائلية لقياس درجة حرارة وسط ما :

(ا) أن يكون المكان الذى توضع فيه بصيلة الترمومتر بحيث تكون درجة الحرارة فيه ممثلة للمعلومات المطلوبة ، وأن يوضع الترمومتر بالكيفية التى تضمن أنه (أى الترمومتر) سوف يأخذ درجة حرارة الوسط . ويتم الانتظار فترة كافية لضمان وصول الترمومتر إلى درجة حرارة الوسط المقيس .

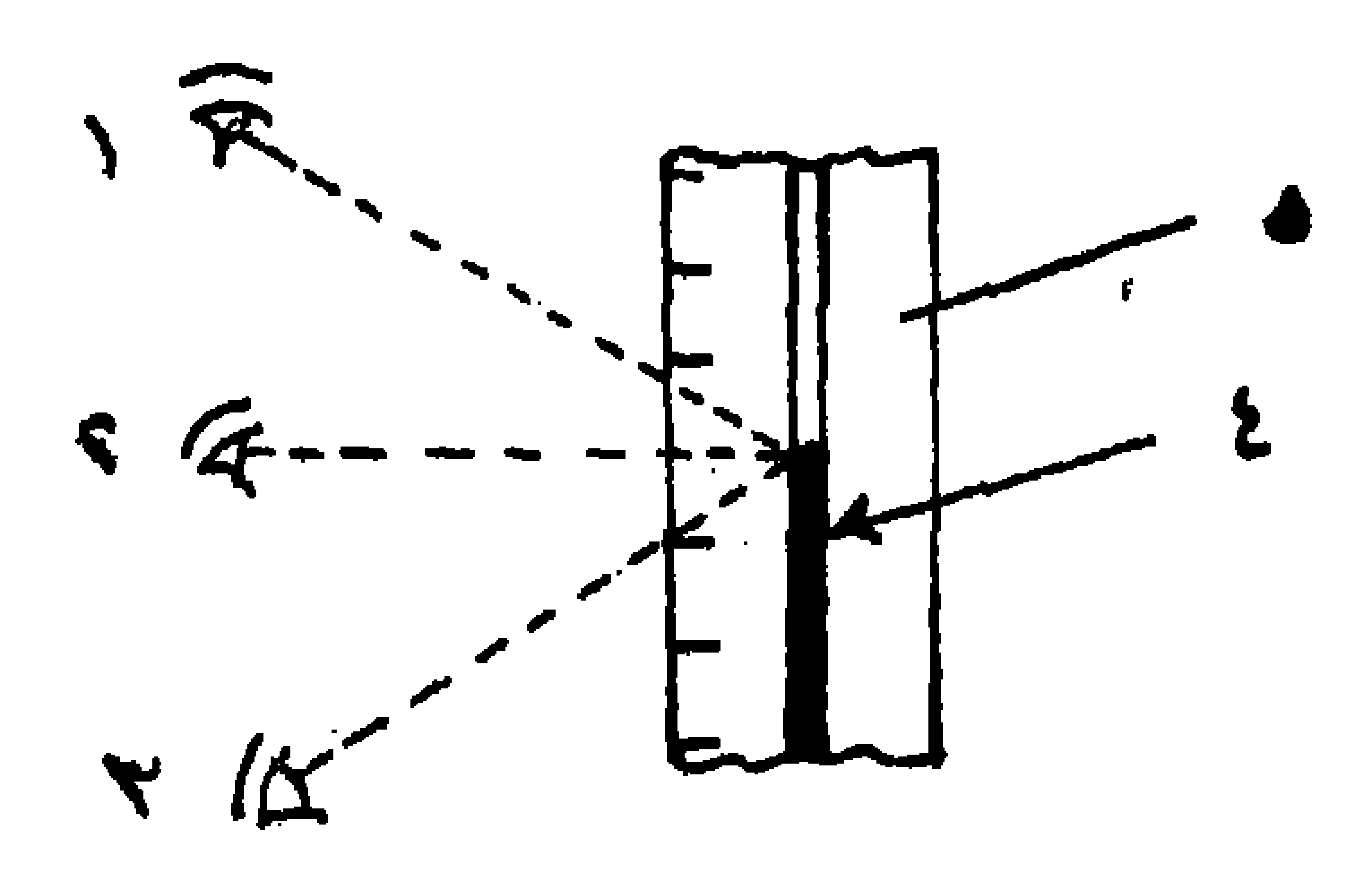
(ب) يختار الترمومتر المناسب فى ضوء ما يلى :

* المدى وأقل قسم بالتدرج .

* نوع الغمر (كلى أو جزئى أو تام)
* الحساسية ، وزمن استجابة الترمومتر لأى تغير فى دجة الحرارة .
* شكل الترمومتر المطلوب .
* إذا لزم استعمال حيب فيجب أن تكون نادته وشكله ومقاسه مناسبة .
* يجب أن يكون للترمومتر القدرة على إعطاء النتائج بالدقة المطلوبة وليس أفضل منها كثيراً . ولذلك يجب معايرته من وقت لآخر .

(ج) يركب الترمومتر بطريقة مناسبة وتؤخذ القراءات بعناية شديدة مع تجنب ما يلى :

* وجود مصادر الحرارة أو البرودة بالقرب من الترمومتر لدرجة أنها تؤثر على بياناته .
* الوقوع فى خطأ اختلاف موضع الرصد ، ويوضح الشكل رقم (٧) تأثير أخذ قراءة الترمومتر من موضع خاطئ . . فعندما يرصد الترمومتر من الوضع (١) بالشكل رقم



الشكل رقم (٧)
أخطاء اختلاف الموضع .
(١) وضع خاطئ يعطى قراءة عالية .
(٢) وضع صحيح .
(٣) وضع خاطى يعطى قراءة منخفضة .
(٤) زلبق .
(٥) أنبوبة شعرية .

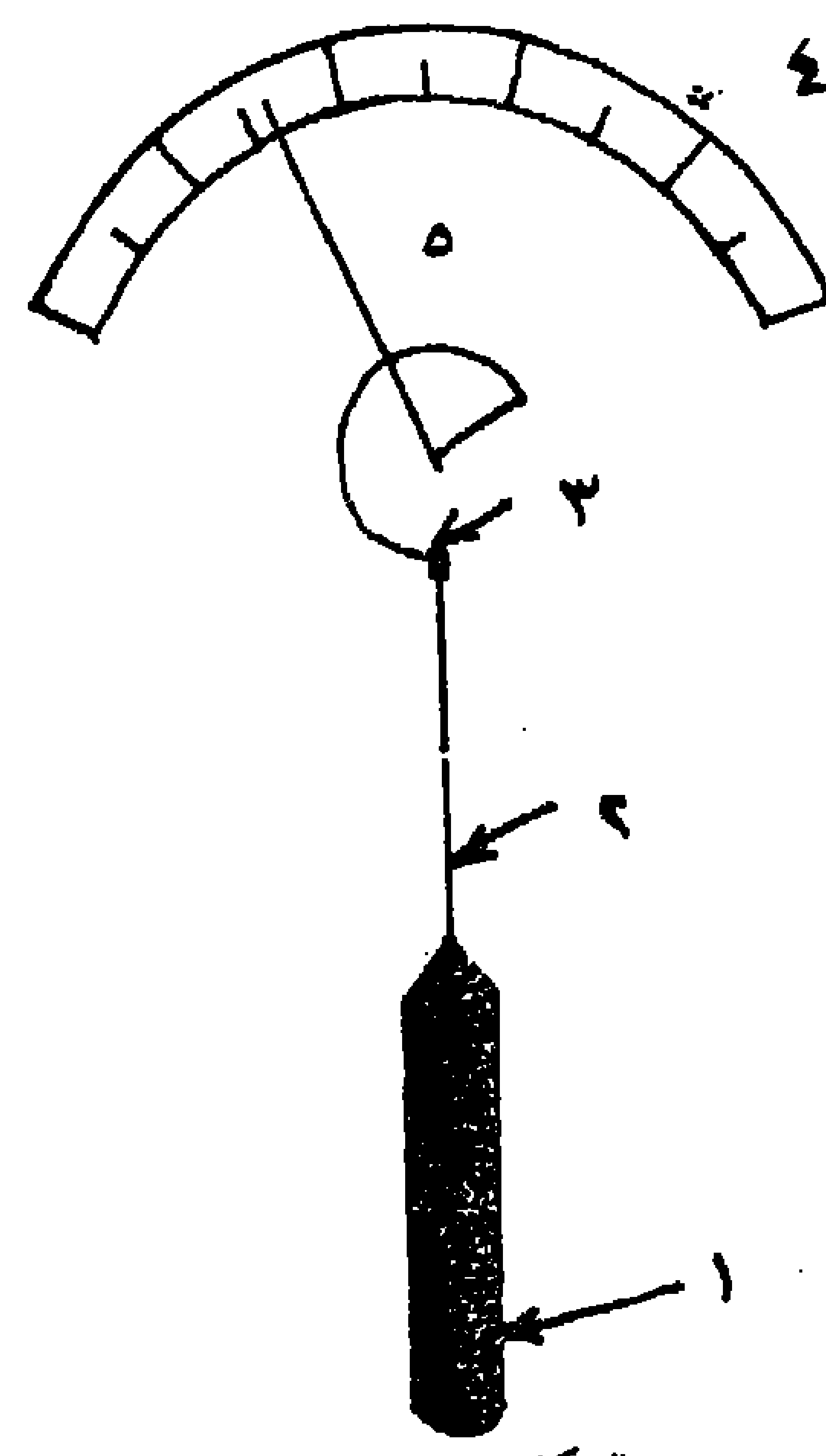
(٧) تكون القراءة عالية ، وعند الرصد من الوضع (٢) تكون . . القراءة صحيحة ، أما من الوضع (٣) فإن القراءة تكون منخفضة .

* الإضاءة غير المناسبة .

٢/٢/٤/٣ الترمومترات المعدنية :

(١) ترمومترات الصلب (زئبق فى صلب)

تعمل ترمومترات الصلب على نفس المبدأ الذى تعمل على أساسه الترمومترات



الشكل رقم (٨)

ترمومتر زئبق فى صلب .

(١) بصيلة صلب مملوءة بالزئبق .

(٢) أنبوبة شعرية مملوءة بالزئبق .

(٣) أنبوبة «بوردون» مملوءة بالزئبق .

(٤) تدريج .

(٥) مؤشر .

الزجاجية ، غير أن البصيلة فى ترمومترات الصلب تكون من الصلب وتكون الأنبوبة الشعرية من الصلب الذى لا يصدأ (شكل رقم ٨) ويستعمل الزئبق كمادة ترمومترية ، وبطبيعة الحال فإنه لا يمكن رؤية الزئبق بالأنبوبة الشعرية ، لذلك توصل الأنبوبة الشعرية بأنبوبة بوردون لقياس التغير فى الحجم ، وتملأ البصيلة والأنبوبة الشعرية وأنبوبة بوردون جميعاً بالزئبق ، ويكون ذلك فى العادة عند ضغط عال ، ويمكن بالتصميم المناسب أن نكون الأنبوبة الشعرية ذات طول كبير بحيث يكون مبين الترمومتر ، المشغل بواسطة أنبوبة بوردون ، واقعاً على بعد مناسب من البصيلة . وفى هذه الحالة يوصف هذا الترمومتر بأنه «ترمومتر للقراءة عن بعد» .

وعندما ترتفع درجة الحرارة يتمدد الزئبق الموجود فى البصيلة أكثر من تمدد البصيلة ذاتها فيدفع الزئبق خلال الأنبوبة الشعرية إلى داخل أنبوبة بوردون ، ومع استمرار الزيادة فى درجة الحرارة فإن كميات أخرى من الزئبق تدفع إلى أنبوبة بوردون فيقل انحناؤها ، وبما أن أحد طرفى أنبوبة بوردون مثبت فإن الطرف الآخر هو الذى يتحرك وتنقل حركته إلى مؤشر أو ذراع مركب فى نهايته ريشة . وبما أن القوة المتاحة تكون كبيرة ، فإن أنبوبة بوردون يمكن صناعتها من مادة متينة بحيث تعطى تحكماً جيداً فى المؤشر ، وقراءات يعول عليها .

وتوجد من هذا النوع من الترمومترات أشكال مختلفة إذ أن أنبوبة بوردون قد تكون كما بالشكل رقم (٨) أو بأشكال مختلفة أخرى . فهى قد تكون مثلا على هيئة أنبوبة مفلطحة تقريباً وملفوفة على هيئة ملفين يتكون كل منهما من عدة لفات ، والملفان مرتبان بحيث يقع أحدهما خلف الآخر وبحيث يكون الطرف الحر لهما فى المركز وتكون اللفة الأخيرة مشتركة بينهما . وأحد طرفى الأنبوبة المتصلة (الطرف الداخلى للملف الخلفى) مثبت ، ويتصل بالأنبوبة الشعرية ، والطرف الآخر (الطرف الداخلى للملف الأمامى) مغلق ويتصل بالمؤشر عن طريق ملف آخر صغير ثنائى المعدن يشكل استمراراً لأنبوبة بوردون . وهذا الملف ثنائى المعدن يعوض التغييرات الناتجة بسبب تغير درجة الحرارة فى كل من خصائص المرونة لأنبوبة بوردون وفى حجم الزئبق .

وبالإضافة إلى تنوع أشكال أنابيب بوردون فإن البصيلات أيضاً ذات أشكال متنوعة تناسب التطبيقات الصناعية المختلفة . وقد تكون البصيلة عبارة عن أنبوبة طويلة نسبيًّا وذات مقطع صغير وعلى شكل u أو ملفوفة على شكل حلزون ، وقد وجد بالتجربة أن الشكل الحلزونى مناسب ومفيد جدًّا لقياس درجة حرارة الغاز ، ذلك أن مساحة سطحها كبيرة ، وبالتالى تكون أكثر استجابة عن الأشكال الأخرى ذات المساحة السطحية الأقل .

وقد تكون البصيلة أسطوانية الشكل وذات جدار متين. ويعتمد مقاس هذه الأسطوانة على عدة عوامل منها نوع المادة الترمومترية ومدى القياس المطلوب ، غير أنه فى جميع الأحوال تتم المحافظة على أن تكون نسبة مساحة السطح إلى حجم البصيلة عند أكثر قيمة لها . حتى تقلل التخلف الزمنى فى استجابة الترمومتر .

وقد تقتضى بعض التطبيقات الصناعية أن توضع بصيلة الترمومتر داخل جيب واق كما يحدث فى حالة قياس درجة حرارة سائل ضغطه أكبر من الضغط الجوى ، مما يخشى معه أن تتعرض البصيلة لهذا الضغط . لذلك يستخدم جيب واق يتيح أيضاً إمكانية تغيير البصيلة دون حاجة لإقفال العملية الصناعية التى يتم قياس درجة حرارة السائل بها . وتختار مادة الجيب الواقى بحيث تناسب ظروف الاستخدام ، فمثلاً عندما توجد ظروف مسببة للصدأ ، فإنه يتم اختيار مادة الجيب بحيث تقاوم الصدأ ، وقد يتم بالإضافة إلى ذلك تغطية الجيب بطبقة (من الخارج) لتعطيه حماية أكبر ضد التآكل والصدأ . ويغطى الجيب بغلاف من الرصاص عندما يوجد حمض كبريتيك ، أما فى الحالات الأخرى فيمكن تغطية الجيب بالزجاج .

ويترتب على استعمال جيب وقاية أن تقل استجابة الترمومتر لأى تغيير فى درجة الحرارة ، ويمكن تقليل تأثير الجيب ، فى خفض الاستجابة ، إلى الحد الأدنى بتقليل الخلوص بين البصيلة والجيب إلى أدنى حد ممكن مع ملء هذا الحيز بالزيت أو بالزئبق أو ببودرة أحد المعادن أو الكربون . ولا يستخدم الزئبق إلا فى الحالة التى يكون فيها الجيب

والبصيلة من الصلب أو سبيكة لا يحدث إلغام لها بالزئبق ، ويجب مراعاة أن الزيت عند استخدامه لمدد طويلة يتبخر أو يتكسر إلى شمع .

وتوجد طريقة فعالة لزيادة معدل الانتقال الحرارى بين الجيب والبصيلة وهى استخدام كم ألومنيوم (جلبة) مموج يتم إدخاله فيما بين البصيلة والجيب بالإضافة إلى إدخال بصيلة داخل الجيب بدرجة كافية لخفض الأخطاء التى قد تنتج عن الحرارة الموصلة من الجيب إلى الخارج ، وما يتبع ذلك من خفض درجة الحرارة عند البصيلة ، وللسبب نفسه يجب أن يكون الجيب مغموراً غمراً جيداً فى المائع الذى تقاس درجة حرارته .

ويجب مراعاة أنه كلما زاد طول الأنبوبة الشعرية كان تأثير درجة حرارة الوسط المحيط أكبر ، وبالتالى يزداد الخطأ فى قراءات الترمومتر ، لهذا يلزم تعويض التأثيرات التى تنشأ فى الأنبوبة الشعرية نتيجة تغييرات درجة الحرارة المحيطة . ويمكن إجراء هذا التعويض بعدة طرق ، إحداها باستخدام أنبوبة شعرية كبيرة المقطع نسبيًّا بداخلها سلك من الأنفار أو أية سبيكة ذات معامل تمدد منخفض بحيث يمكن إهماله على أن يتم وضع السلك بحيث يملأ خمسة أسداس حجم الأنبوبة الشعرية ، وفى هذه الحالة تكون الزيادة فى حجم الزئبق بالأنبوبة الشعرية الذى يملأ سدسها مساوياً بالضبط لزيادة الحجم فى الأنبوبة ذاتها ، أى يعوضه تماماً .

وتوجد ترمومترات من هذا النوع تملأ بالزايلين أو الأكسلين أو الكحول أو الأثير أو مواد عضوية أخرى ، وذلك لأنها تكون أصلح من الزئبق لقياس درجات الحرارة المنخفضة . فالترمومترات من هذا النوع التى تحتوى الزئبق تكون صالحة لقياس درجات الحرارة فى المدى من− ٣٩ إلى ٦٥٠°م بينما الترمومتر المملوء بالكحول مثلاً يصلح لقياس درجات الحرارة فى المدى من− ٤٦ إلى ١٥٠°م.

٣/٤/٣ تمدد الغازات :

٣/٤/٣/١ ترمومترات الغاز :

تعمل ترمومترات الغاز على أساس أنه إذا وضعت كمية من غاز خامل فى بصيلة وأنبوبة شعرية وأنبوبة بوردون وظل حجمها ثابتاً ، وكان معظم الغاز فى البصيلة . فإن بيان الضغط فى أنبوبة « بوردون » يمكن اتخاذه مقياساً لدرجة الحرارة ، نظراً لأنه عند ثبات حجم الغاز فإن الزيادة فى الضغط تتناسب مع الزيادة فى درجة الحرارة المسببة له .

ويستخدم الترمومتر الغازى لقياس درجات الحرارة فى الأعمال التى تتطلب دقة عالية فى المختبرات ، وكذلك استجابة سريعة بشرط استخدام طريقة مناسبة لتعويض تأثير درجة الحرارة الوسط على الأنبوبة الشعرية .

٥/٣ ترمومترات تغير الحالة :

١/٥/٣ ترمومترات ضغط البخار :

تعمل ترمومترات ضغط البخار على أساس ضغط البخار (ض) للمادة النقية القابلة للتطاير يرتبط بدرجة الحرارة المطلقة د بالعلاقة التالية :

$$\text{لوض} = \text{أ} - \frac{\text{ب}}{\text{د}}$$

حيث أ ، ب ثابتان .

وتستخدم ترمومترات ضغط البخار على نطاق واسع لأنها رخيصة الثمن عن ترمومترات زئبق فى صلب فضلاً عن أنها لا تتأثر بدرجات الحرارة المحيطة ، ولا تحتاج لبصيلة كبيرة مثل الأنواع الأخرى ، ويمكن استعمال مادة ترمومترية لهذه الترمومترات من بين عدد كبير من المواد منها الماء (للمدى من ١٢٠ – ٢٢٠°م) وكلوريد المثيل (للمدى من صفر إلى ٥٠°م) والكحول الإثيلى (للمدى من ٣٠ – ١٨٠°) إلخ .

٢/٥/٣ المخروطات البيرومترية :

تتغير حالة المواد فى ظروف محددة من النقاء والضغط عند درجات حرارة ثابتة . وقد استفيد من هذه الحقيقة فى الحصول على درجات حرارة ثابتة وأيضاً لبناء مقياس لدرجة الحرارة . فمثلاً نقط الانصهار للمعادن توفر طريقة لتحديد القوة الدافعة الكهربائية لمزدوجة حرارية عند نقاط ثابتة على المقياس الدولى العملى لدرجات الحرارة . وأيضاً فإن نقط انصهار مواد معدنية معينة تستخدم على نطاق واسع فى صناعة الخزف والحراريات لتعيين درجة حرارة الأفران . وقد صنعت أهرامات من مخلوطات سيليكات معدنية مثل الصلصال الصينى (سليكات ألومنيوم) ، والتلك (سيليكات مغنسيوم) والفلسبار (سيليكات ألومنيوم صوديومى) ، الكوارتز (سيليكا) . . . إلخ وغيرها من المواد المعدنية مثل كربونات الكالسيوم .

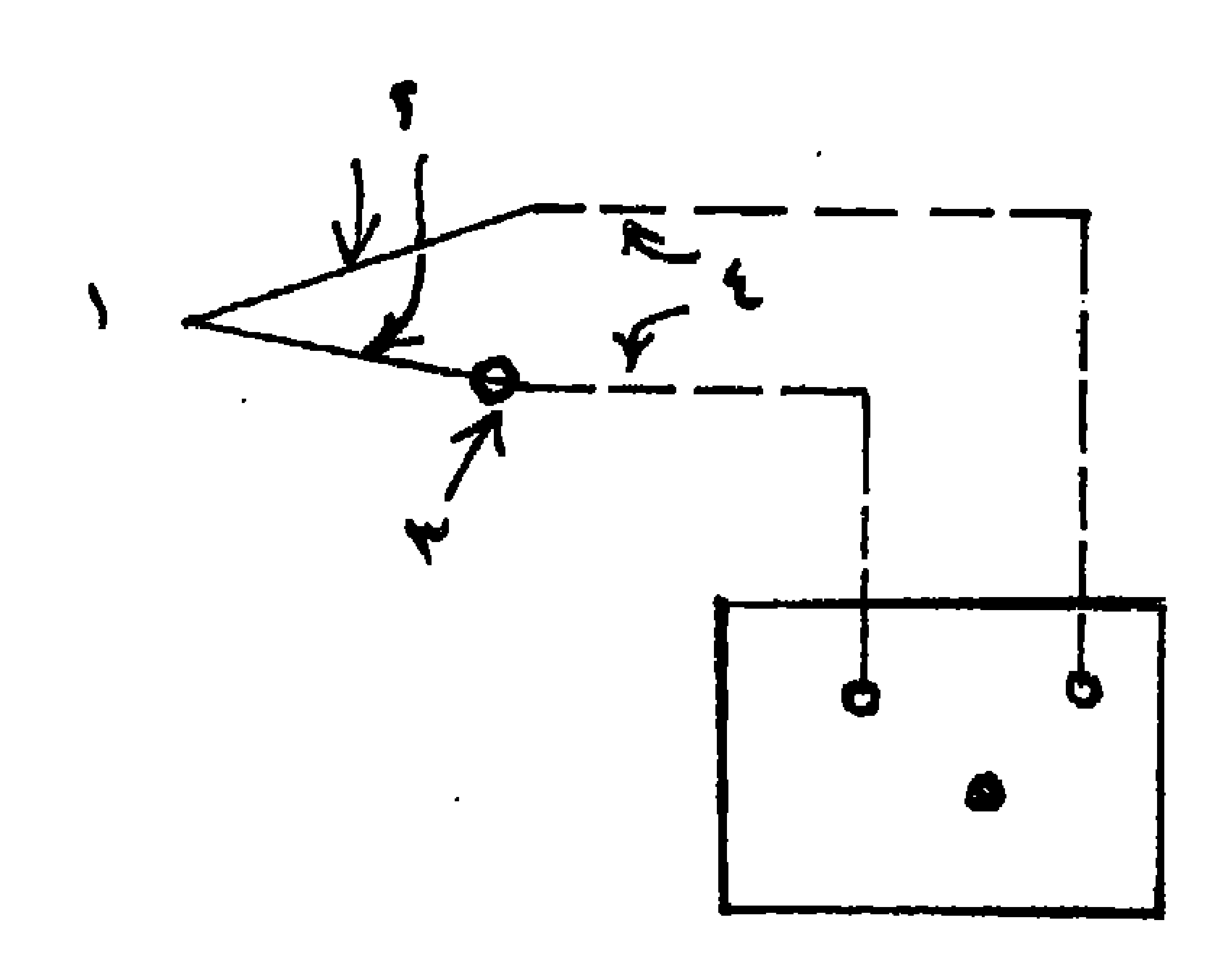
وتعرف هذه المخروطات بمخروطات «سيجير» . ويمكن عن طريق تغيير تركيب هذه المواد تغطية مدى درجات الحرارة بين ٦٠٠ ، ٢٠٠٠°م على خطوات مناسبة . وتوضع مجموعة من المخروطات فى الفرن ، وكلما وصلت درجة الحرارة إلى درجة انصهار إحداها فإنها تنصهر . وعندما يظهر لنا أن أحدها بدأ الانحناء ، دون الانصهار ، فإن ذلك يكون دليلاً على أن درجة حرارة الفرن تساوى درجة إنصهار هذا المخروط . ويمكن التأكد من ذلك بملاحظة المخروط الذى يليه فى درجة الانصهار مباشرة الذى سنجد أنه لم ينصهر ويجب التنبه إلى أن المخروطات ليست وسائل لقياس درجة الحرارة ، ولكنها مؤشرات للتأثيرات التراكمية للمعالجة الحرارية للمواد الخزفية المتشابهة أثناء حرقها :

وبالإضافة إلى المخروطات ، فإنه توجد أيضاً مخلوطات معدنية على هيئة طباشير وطلاءات وأقراص ، تنصهر عند درجات حرارة محددة . ويستدل على درجات حرارة بين ٤٥ ، ١٣٧٠°م باستعمال مجموعة من أحد الأشكال السابقة . وعند ما تتساوى درجة حرارة الجسم مع درجة انصهار قطعة طباشير أو قرص مثلا فإنه يلاحظ حدوث ترطيب لها ثم انصهارها .

٦/٣ الطرق الكهربائية لقياس درجة الحرارة :

١/٦/٣ ترمومترات المزدوجات الحرارية :

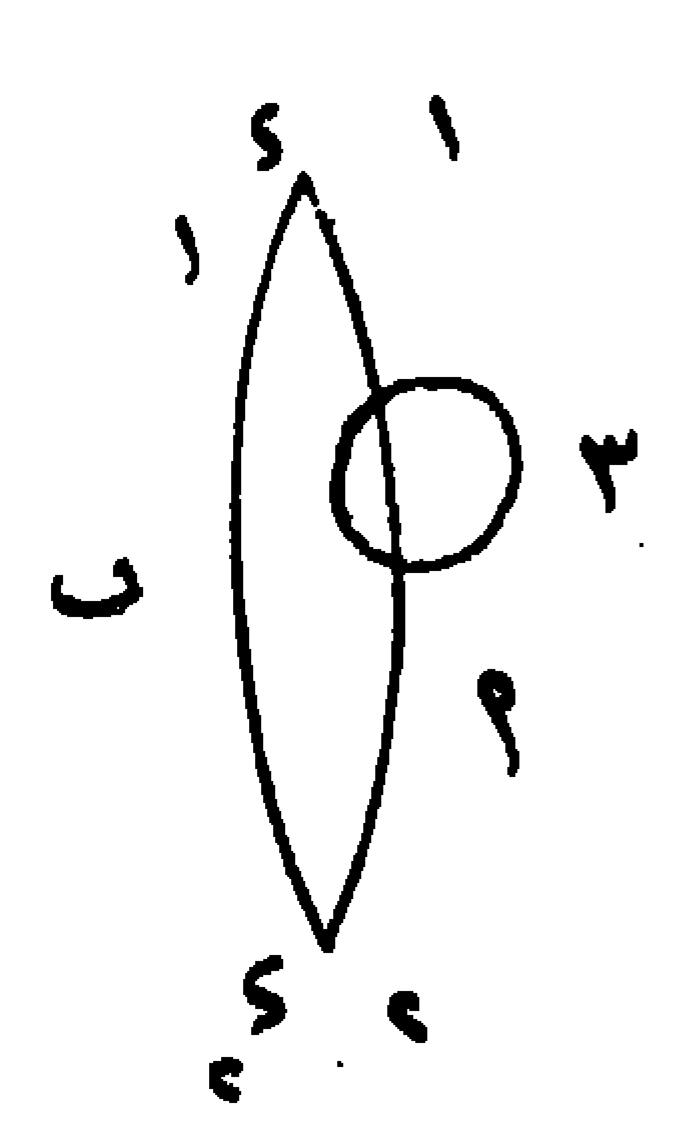
ترمومتر المزدوجة الحرارية عبارة عن نظام لقياس درجه الحرارة يتكون من عنصر حساس لدرجة الحرارة يعطى قوة دافعة كهربائية (ق . د . ك) يسمى المزدوجة الحرارية ، ووسيلة تحس القوة الدافعة الكهربائية الناتجة من المزدوجة وتشمل تدريجاً لتحويل هذه القوة الدافعة الكهربائية إلى ما يناظرها من درجات الحرارة ، وموصلات كهربائية للوصل بين الاثنين (شكل رقم٩) .



الشكل رقم (٩)

(١) الوصلة الساخنة (وصلة القياس) .
(٢) أسلاك الإزدواج .
(٣) الوصلة المرجعية .
(٤) أسلاك تطويل .
(٥) جهاز قياس الجهد (القوة الدافعة الكهربائية) .

وتتكون المزدوجة الحرارية من زوج من الموصلات الكهربائية (العناصر الحرارية) معزولين عن بعضهما فيما عدا عند الوصلتين التى تتكون كل منهما بوصل طرف أحد العناصر الحرارية بطرف العنصر الثانى وإحدى الوصلتين تسمى وصلة القياس أو الوصلة الساخنة وهى التى تعرض لدرجة الحرارة المطلوب قياسها ، أما الثانية فتسمى الوصلة المرجعية أو الوصلة الباردة وهى التى تعرض لدرجة حرارة معلومة مثل الصفر المئوى وإذا كان لدينا مزدوجة حرارية ، ووضعت وصلة القياس فى درجة الحرارة د ووضعت الوصلة المرجعية فى وسط درجة حرارته د كما هو موضح بالشكل (١٠) وكانت د تختلف عن د ، فإنه سوف تتولد قوة دافعة كهربائية فى الدائرة يمكن كشفها وقياسها بواسطة ملى فلطمتر مثلاً ، وتتوقف هذه القوة الكهربائية على الفرق د — د ، نوع مادتى الوصلتين .



الشكل رقم (١٠)

دائرة بسيطة لازدواج حرارى .(١) وصلة مرجعية عند درجة حرارة د١ .

(٢) وصلة القياس عند درجة حرارة د٢ .

(٣) جهاز قياس القوة الدافعة الكهربائية .

أ ، ب سلكا المزدوجة .

وعلى هذا فإنه بقياس القوة الدافعة الكهربائية يمكن قياس الفرق د١ - د فإذا كانت د٢ معلومة لدينا ، لأمكن معرفة د١ .

ونظراً لأن القوة الدافعة الكهربائية التى تنتج فى معظم قياسات درجة الحرارة تكون حوالى ١٠ إلى ٥٠ ملى فولت ، لذا فإنه يلزم دائما استخدام أجهزة قياس حساسة مناسبة لتحويل هذه الجهود المنخفضة إلى ما يكافئها من درجات الحرارة . ويمكن قياس القوة الدافعة الكهربائية باستخدام ملى فولتمتر ذى ممانعة عالية ، وخلية قياسية أو مصدر جهد منخفض مستقر جداً .

وقد استخدمت لقياس القوة الدافعة الكهربائية حديثاً مقاييس جهد (بوتنشيمترات) حديثة تتوازن تلقائياً بواسطة مصادر قدرة منتظمة بصمام زينر الثنائى ومقاومات تعويض من النيكل أو النحاس الحساس لدرجة الحرارة بدقة عالية ، مما جعل بالإمكان قياس درجة الحرارة بدقة دون حاجة إلى حمام ثلج أو للموازنة اليدوية لدائرة القنطرة .

٣/٦/١/١ أنواع المزدوجات الحرارية :

يوجد نوعان من المزدوجات أولها المزدوجات المصنوعة من المواد النفيسة وثانيهما المزدوجات المصنوعة من المواد غير النفيسة . ويستخدم النوع الأول فى كثير من الصناعات وأكثرها شيوعاً مزدوجة بلاتين - بلاتين/روديوم الذى يستعمل فى التحكم فى الأفران فى صناعات الصلب وأشباه الموصلات وغيرها . ويمكن استخدام مزدوجات النوع الأول لقياس درجات الحرارة حتى ١٥٠٠ م° بصفة مستمرة وحتى ١٦٥٠ م° بصفة متقطعة ، ويوضح الجدول رقم (٣) المزدوجات الحرارية الشائعة الاستخدام فى الصناعة والمدى الموصى به لاستخدامها .

الجدول رقم (٣)

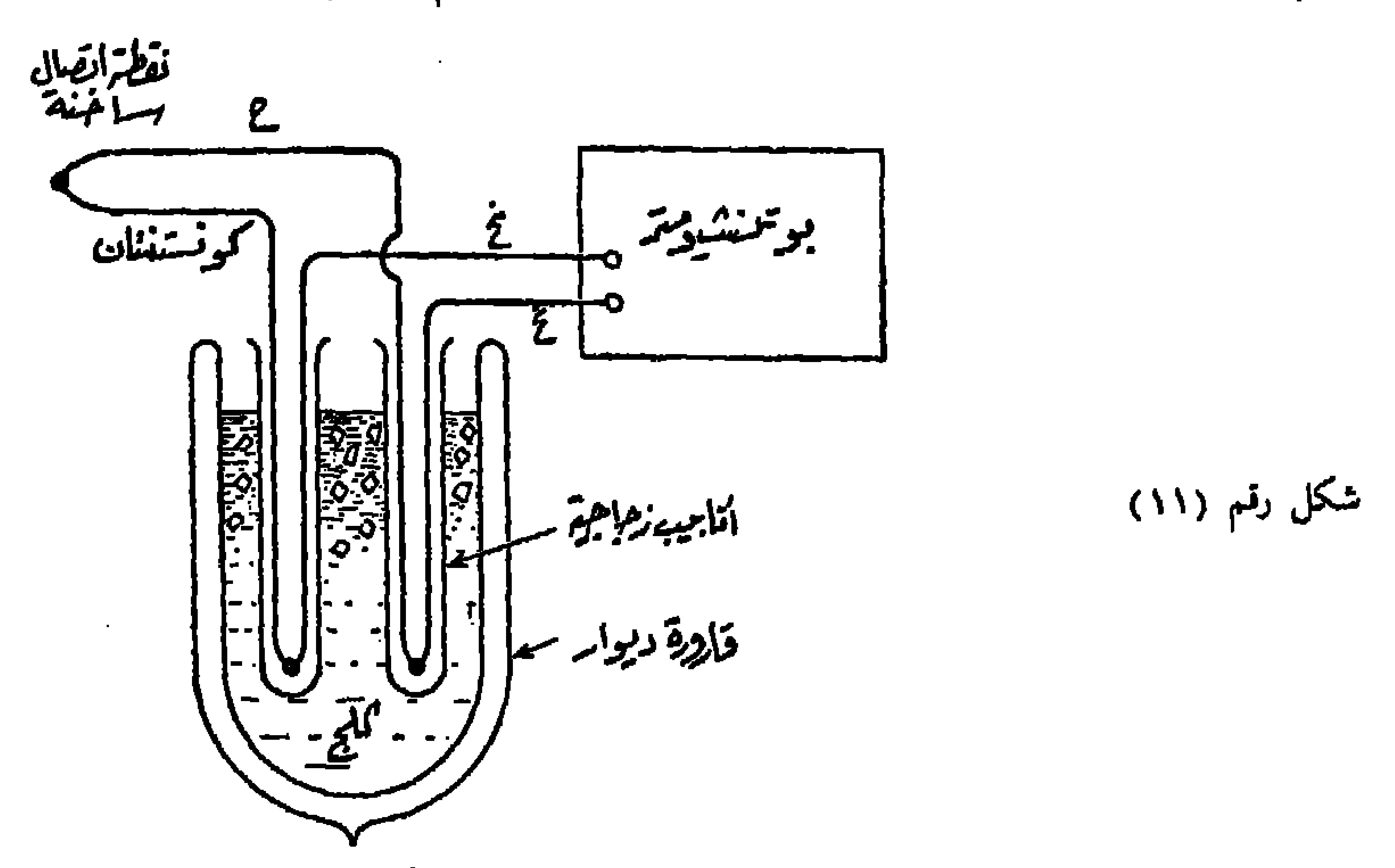
أنواع المزدوجات الشائعة فى القياسات الصناعية ومداها

المزدوجة الحرارية		المدى (°م)
العنصر الموجب	العنصر السالب	
كرومل	كونستنتان	– ١٥٠ إلى ٨٧٠
حديد	كونستنتان	– ١٥٠ إلى ٧٦٠
كروميل	الوميل	– ١٥٠ إلى ١٢٦٠
بلاتين ١٠ ٪ روديوم	بلاتين	صفر إلى ١٥٠٠
بلاتين ١٣ ٪ روديوم	بلاتين	صفر إلى ١٥٠٠
نحاس	كونستنتان	– ١٥٠ إلى ٣٤٠

وفى الأعمال التى تتطلب دقة كبيرة جرت الخبرة على جعل نقطة الإتصال الباردة عند درجة حرارة الثلج ويكون التوصيل كما فى شكل (١١) الذين يبين توصيلات مزدوج حرارى من معدنى الحديد والكنستنتان.

وفى مزدوجات النحاس والكونستنتان يلزم وضع نقطة واحدة فقط فى الثلج ثم توصل السيخان النحاسية للمزدوجات الحرارية بواسطة مفتاح أحادى القطب، مصنوع من النحاس، وخالى من القوة الدافعة الكهربائية.

ويوضح الشكل رقم (١١) وصلة ملحومة ، ولعمل مثل هذه الوصلة فإن السلكين يعريان ثم ينظفان بقطعة من قماش السنفرة الدقيقة (قماش تنعيم) ، ثم يفتلان (يجدلان)



شكل رقم (١١)

ويغمسان فى محلول تيتراكلوريد الكربون ثم يلحم السلكان معاً باستخدام اللهب إذا كانت مادة اللحام هى الفضة أو مكواه كهربائية إذا كانت مادة اللحام سبيكة رصاص – قصدير . ويراعى أن استخدام اللهب فى لحام أسلاك من البلاتين أو من سبائكه أو من الألوميل قد ينتج عنه عدم التجانس والهشاشية فى الأسلاك ، لذا يفضل بالنسبة لهذه المواد استخدام طريقة الصهر الكهربائى لتكوين الوصلات المطلوبة .

٢/١/٦/٣ أسلاك التوصيل وأسلاك التمديد :

عند استخدام المزدوجة الحرارية فى دائرة قياس فإنه يتم استخدام زوجين من الموصلات الكهربائية لتوصيلها بأداة أو جهاز القياس المستخدم لقياس القوة الدافعة الكهربائية . وفى العادة يكون السلكان من النحاس عندما تكون الوصلة المرجعية للمزدوجة فى وسط درجة حرارته هى الصفر المئوى .

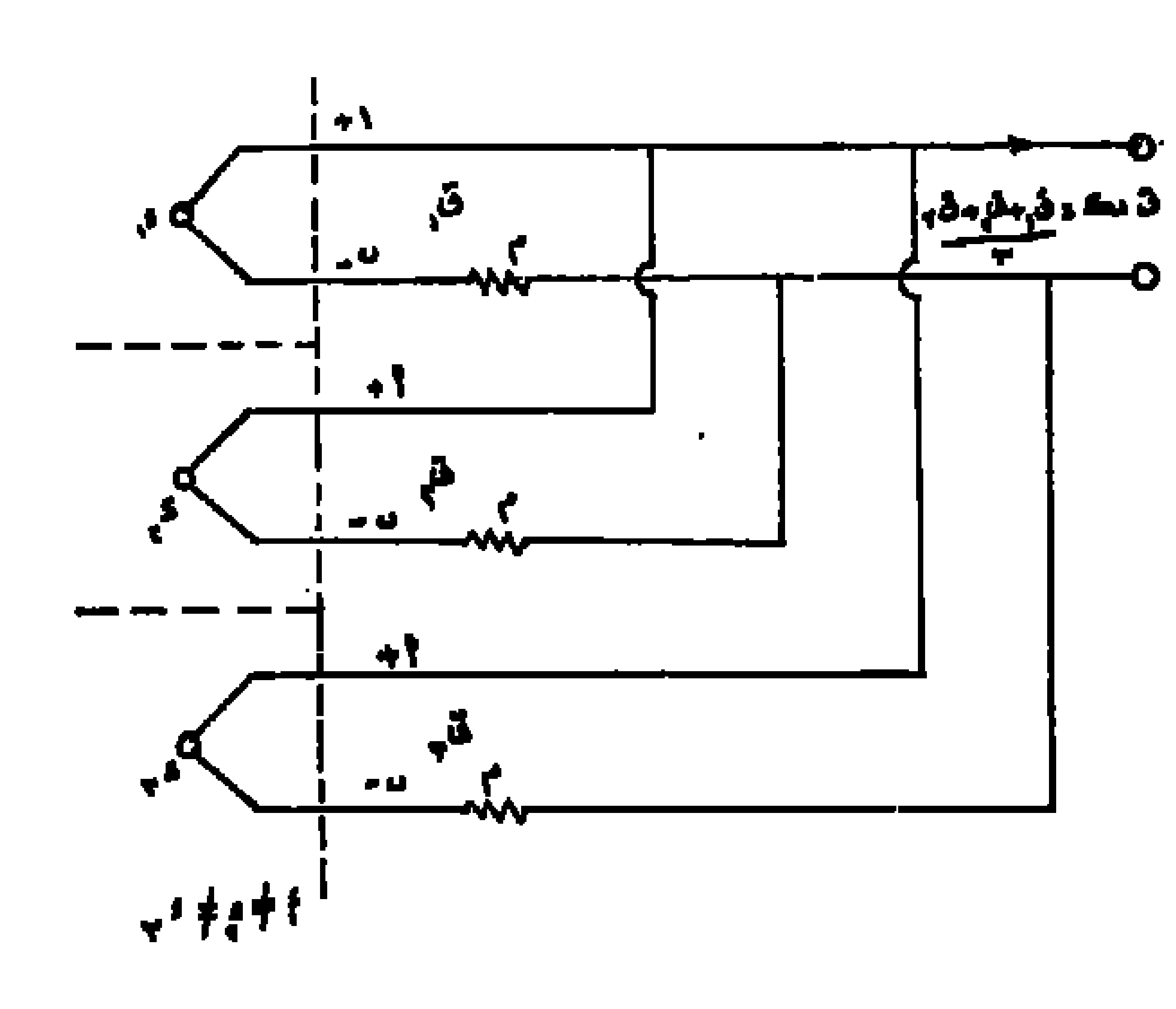
وعندما يكون جهاز القياس المستخدم مع المزدوجة الحرارية ليس مجاوراً لها أو قريباً

منها ، فإنه يكون من الضرورى توصيل الوصلة الباردة (المرجعية) للمزدوجة بواسطة سلك تمديد (تطويل) مع الجهاز. وهذا السلك يجب أن يكون ذا خصائص مشابهة لخصائص الأسلاك المكونة المزدوجة ، وإلا فإن استعمال أسلاك تمديد مختلفة الخصائص سيكون بمثابة إدخال مزدوجات إضافية جديدة فى دائرة المزدوجة المستخدمة فى القياس . وفى العادة تكون أسلاك التمديد من نفس أسلاك المزدوجة إذا كانت المواد من غير المعادن النفيسة ، أما إذا كانت المواد المصنوع منها المزدوجة من المعادن النفيسة فإنه لا يمكن استخدام نفس المواد فى أسلاك التمديد نظراً لأن ذلك يكلف كثيراً ، ولهذا تستخدم أسلاك من معادن ذات خصائص كهربائية حرارية مشابهة لمواد المزدوجة . وبصفة عامة فإن أسلاك التطويل (التمديد) تكون غليظة القطر نسبيًّا (لتكون مقاومتها صغيرة) غير أن ذلك يجعلها غير ملائمة للربط بأطراف التوصيل مباشرة ، وإنما يتم توصيلها بصندوق وصلات . وإذا تم التحكم حراريًّا فى درجة هذا الصندوق فإنه يمكن التوصيل من صندوق الوصلات إلى أجهزة القياس بواسطة أسلاك من النحاس لأننا بذلك نكون قد أدخلنا وصلة باردة (مرجعية) ذات درجة حرارة ثابتة .

٣/١/٦/٣ استخدامات المزدوجات :

لا يقتصر استخدام المزدوجات لقياس درجة الحرارة فى نقطة واحدة من الوسط فقط ، ولكن يمكن توصيلها على التوازى لقياس درجة الحرارة المتوسطة فى منطقة من الوسط (الشكل رقم ١٢)ويتم التوصيل على التوازى لمجموعة من المزدوجات بتوصيل العناصر الموجبة لها إلى سلك توصيل واحدوكذلك توصيل العناصر السالبة إلى سلك توصيل آخر أيضا . ولتقليل المقاومات غير المتشابهة وأسلاك التوصيل الخاصة بها إلى نقطة الأتصال المتوازى فى جهاز القياس فإنه تستخدم مقاومة م على التوالى مع كل مزدوجة حرارية .وهذه المقاومة تمنع تدفق التيار فيما بين المزدوجات ، وبذلك تمنع حدوث خطأ فى القياس ويتم اختيار هذه المقاومة بحيث تكون قيمتها كبيرة بالنسبة إلى

المقاومة الإجمالية للدائرة وإلى التغييرات التى تحدث فى مقاومات المزدوجات الحرارية ، نتيجة تغيير درجة الحرارة ، وتكون هذه المقاومة فى العادة ٥٠٠ — ٢٠٠٠ أوم .



شكل رقم (١٢)

تستخدم الإزدواجات على التوازى لقياس درجات الحرارة المتوسطة .

ويمكن استخدام المزدوجات أيضاً لقياس فروق درجات الحرارة بتوصيلها على التوالى مع عكس الأقطاب (الشكل رقم ١٣) ، ويراعى فى حالتى استخدام دوائر المزدوجات على التوالى أو التوازى أن تكون هذه المزدوجات ذات خصائص خطية .

الشكل رقم (١٣)

استخدام مزدوجتين لقياس فروق درجات الحرارة د ١ — د ٢ بعكس الأقطاب .
جيوب واقية تسمح بإخراج المزدوجة دون غلق أو تعطيل العملية الصناعية .

ويمكن الإستدلال من الجدول رقم ٣ على مدى درجات الحرارة ، لكل مزدوجة حرارية ، والذى تكون فيه العلاقة خطية بين القوة الدافعة الكهربائية ودرجة الحرارة . أى يمكن تمثيلها بخط مستقيم .

٣/٦/١/٤ وقاية المزدوجة الحرارية من الضوضاء :

فى السابق كانت القوة الدافعة الكهربائية التى تنتجها المزدوجات تقاس بواسطة ملى فولطمترات ، ومقاييس جهد ذات معاوقة منخفضة. ولذلك لم تكن قراءتها تتأثر تأثيراً كبيراً بالضوضاء ، أما الآن وبعد أن أصبحت أجهزة القياس أكثر تعقيداً وحساسية فإن الدوائر الكهربائية المستخدمة ذات معاوقة عالية ، وبصفة عامة فإنه كلما كان مستوى الجهد منخفضاً والمعاوقة عالية فى دائرة القياس زادت درجة تأثرها بجميع أنواع الضوضاء سواء كانت استاتيكية أو مغناطيسية .

وتنتج الضوضاء الاستاتيكية عن المجال الكهربائى المشع من مصدر جهد مقرون سعويًّا مع دائرة المزدوجة الحرارية . وأكثر الطرق فاعلية للتخلص من هذا النوع من الضوضاء هو وضع دائرة المزدوجة داخل حجاب يغطيها بأكملها . ويعزل سلكا التوصيل الخاصان بالمزدوجة من التأثيرات الخارجية ، ويقوم هذا الحجاب المتصل بالأرض باعتراض التداخلات الاستاتيكية وإرسالها إلى الأرض ، ويراعى هنا أن الحجاب لن تكون له أية فائدة إذا لم يوصل بالأرض .

أما الضوضاء المغناطيسية فتنتج من التيارات الكهربائية المتدفقة عبر الموصلات والمعدات الكهربائية كالمحركات والمولدات ، وذلك لأن التيار الكهربائى المتدفق يشع مجالا مغناطيسيًّا حوله ، وعندما يمر المجال المغناطيسى فى الحيز الواقع فيما بين الموصلات بدائرة المزدوجة الحرارية ، فإنه ينشئ تياراً فى تلك الدائرة . وهذا يؤدى إلى وجود ضوضاء تتراكب فوق الإشارة بدائرة المزدوجة الحرارية ، وهذا يؤدى بالتالى إلى حدوث خطأ فى نتيجة القياس . ويمكن تقليل تأثير الضوضاء المغناطيسية باستخدام أسلاك توصيل مجدولة لأنها تؤدى إلى إلغاء هذه الضوضاء فى الأجزاء المجاورة لها . وهذه الطريقة لا تكلف شيئاً .

٣/٦/١/٥ خصائص المزدوجات الحرارية :

يعتمد الحد الأقصى لدرجات الحرارة بالنسبة للمزدوجات على مقاسات الأسلاك المكونة منها ، وعلى نوع الوسط المحيط بها أثناء استعمالها من حيث كون الوسط يقيها من الصدأ والتلوث أو غير ذلك . ويوضح الجدول رقم (٤) الحدود القصوى الموصى بها لدرجات الحرارة للمزدوجات المستخدمة فى القياس فى ظروف محيطة تقيها من التآكل والتلوث والحد الأقصى لمقاسات أسلاكها .

الجدول رقم (٤)

الحدود القصوى الموصى بها لدرجات الحرارة التى تستخدم فيها المزدوجات الموضوعة فى أجواء تقيها من التآكل والتلوث ، الحد الأقصى لمقاس أسلاك هذه المزدوجات

نوع المزدوجة الحرارية	الحد الأقصى لمقاسات الأسلاك (بالمليمتر)			
	٣,٢٥ °م	١,٦٣ °م	٠,٨١ °م	٠,٣٣ مم °م
نحاس – كونستنتان	—	٣٧١	٢٦٠	٢٠٤
حديد – كونستنتان	٧٦٠	٥٩٣	٤٨٢	٣٧١
كروميل – كونستنتان	٨٧١	٦٤٩	٥٣٨	٤٢٧
كروميل – ألوميل ١٠٪	١٢٦٠	١٠٩٣	٩٨٢	٨٧١
بلاتين (١٣٪ روديوم) – بلاتين	—	—	—	١٤٨٢
بلاتين (٣٠٪ روديوم) بلاتين (٦٪ روديوم)	—	—	—	١٧٠٥

كما يوضح الجدول رقم (٥) حدود الخطأ للمزدوجات ، وأسلاك التمديد بالنسبة لمقاسات الأسلاك القياسية :

الجدول رقم (٥)

نوع المزدوجة	المدى °م	حدود الخطأ °م	نوع سلك التمديد	المدى °م	حدود الخطأ °م
نحاس – كونستنتان	– ١٨٤ إلى – ٥٩	–	نحاس – كونستنتان	– ١٦٩ إلى + ٩٣	± ٠,٨
	– ١٠١ إلى – ٥٩				
	– ٥٩ إلى + ٩٣	± ٠,٨ م			
	+ ٩٣ إلى – ٣٧١	± $\frac{٣}{٤}$ ٪			
حديد كونستنتان	٠ إلى ٢٧٧	± ٢,٢ م	حديد – كونستنتان	٠ إلى ٢٠٤	± ٢,٢
	٢٧٧ إلى ٧٦٠	± $\frac{٣}{٤}$ ٪			
كروميل – كونستنتان	٠ إلى ٣١٦	± ١,٧ م	كروميل – كونستنتان	٠ إلى ٢٠٤	± ١,٧
	٣١٦ إلى ٧٦٠	± $\frac{١}{٢}$ ٪			
كروميل – ألوميل	٠ إلى ٢٧٧	± ٢,٢ م	كروميل – ألوميل	٠ إلى ٢٠٤	± ٢,٢
	٢٧٧ إلى ١٢٦٠	± $\frac{٣}{٤}$ ٪			
بلاتين – بلاتين (١٣ ٪	٠ إلى ٥٣٨	± ١,٤ م			
أو ١٠ ٪ روديوم)	٥٣٨ إلى ١٤٨٢	± $\frac{١}{٤}$ ٪			
بلاتين – بلاتين (٣٠ ٪	٨٧١ إلى ١٧٠٥	± $\frac{١}{٢}$ ٪			
روديوم أو ٦ ٪ روديوم)					

وتعتمد ضباطة القياسات التى يمكن الحصول عليها بواسطة المزدوجات بصفة رئيسية على مدى درجة الحرارة وعلى الأسلوب الفنى المتبع . ويتوقف زمن استجابة المزدوجة الحرارية للتغير فى درجة الحرارة على كتلة الوصلة الحساسة لدرجة الحرارة ، وشكلها الهندسى ، وطريقة أو طرق انتقال الحرارة بين الوصلة والوسط المحيط بها . وتزداد سرعة الاستجابة بازدياد النسبة بين مساحة سطح الوصلة إلى كتلتها وذلك عند ثبات ظروف انتقال الحرارة ، وعندما يوضع الازدواج داخل جيب أو غطاء واق فإن استجابته تعتمد على تأثير انتقال الحرارة من الوسط إلى الجيب أو الغلاف ثم من الجيب إلى الوصلة .

وتتغير حساسية المزدوجة الحرارية إلى حد ما بتغير درجة الحرارة ، ويعبر عن الحساسية بمعدل تغير القوة الدافعة الكهربائية بالنسبة للتغير فى درجة الحرارة ، ويوضح الجدول رقم (٦) متوسط الحساسية ، مقدرة بالميكروفولت لكل درجة مئوية ، لبعض المزدوجات شائعة الاستعمال :

الجدول رقم (٦)
متوسط الحساسية لبعض المزدوجات

المزدوجة الحرارية	متوسط الحساسية (ميكروفولت لكل درجة للمدى الموضح قرين كل منها
نحاس – كونستنتان	٥٠,٤ (٠م – ٣٤٣°م)
حديد – كونستنتان	٥٧,٦ (٠م – ٧٦٠°م)
كروميل – الوميل	٤١,٤ (٠م – ١٢٠٠°م)
بلاتين ١٠ روديوم – بلاتين	١١٣ (٥٤٠°م – ٢٤٥٠°م)
كروميل – كونستنتان	٧٥,٦ (. – ٧٦٠°م)

٣/٦/١/٦ معايرة المزدوجات :

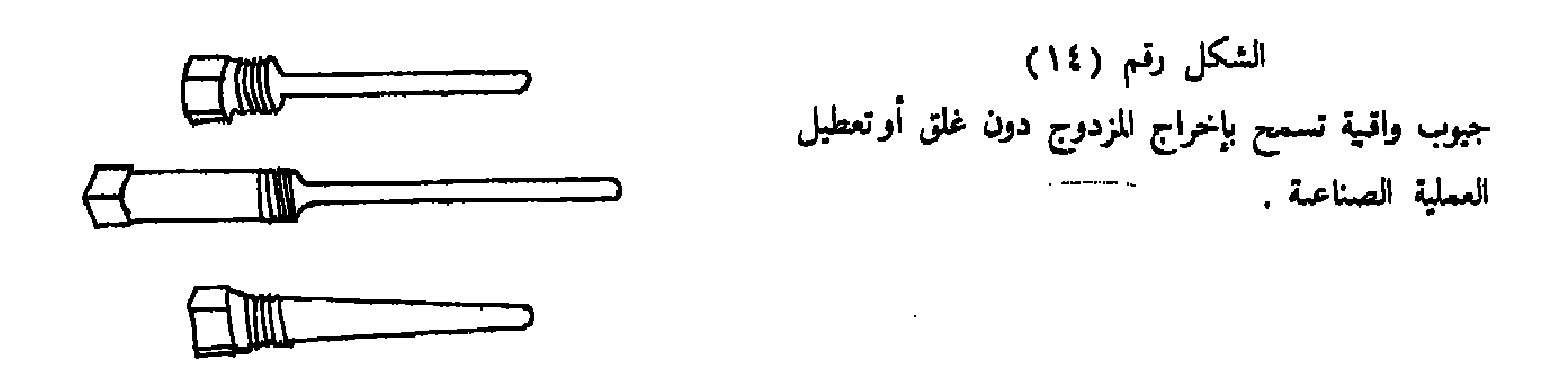
يمكن معايرة المزدوجة الحرارية بوضعها مع مزدوجة قياسية فى منطقة ذات درجة حرارة منتظمة ومقارنة قراء تيهما . ولضمان تعرضها لدرجة حرارة واحدة ، فيمكن وضعها فى ثقوب متقاربة فى كتلة من معدن نقى . ويمكن أيضاً غمر المزدوجة فى مقدار كاف من مادة قياسية ، بينما تبرد هذه المادة مروراً بنقطة تجمدها . . إذ أنه عندما تتحول مادة من حالة السيولة إلى حالة الصلابة فإن الحرارة الكامنة تتحرر وتحافظ على درجة حرارة المادة عند قيمة ثابتة لفترة من الوقت على الرغم من أن المادة تعطى حرارة إلى الوسط المحيط بها . ويراعى أن تكون المزدوجة مغمورة بدرجة كافية فى المادة وأنها بعيدة بدرجة كافية عن جدار الوعاء الحوى للمادة . ومن أمثلة المواد المستخدمة لهذا الغرض الذهب ونقطة تجمده ١٠٦٤,٤٣°م ، الفضة ونقطة تجمدها ٩٦١,٩٣°م ، الخارصين ونقطة تجمده ٤١٩,٥٨°م . . . إلخ . وهذه المواد هى بعض المواد القياسية التى تستخدم نقاط تجمدها فى تعريف المقياس الدولى العملى لدرجة الحرارة (مقياس ١٩٦٨) . وتوجد طريقة أخرى تناسب معايرة مزدوجات المواد الثمينة عند نقطة الذهب (١٠٦٤°م) ونقطة البلاديوم (١٥٥٤°م) ونقطة البلاتين (١٧٧٢°م) بأن يوضع سلكا المزدوجة الحرارية ، وتفصلها مسافة ٥ مم ، فى مركز فرن روديوم– بلاتين أنبوبى الشكل– يوصل الطرفان الحران للسلكين ببعضهما عن طريق سلك قصير من الذهب أو البلاديوم أو البلاتين النقى (إلا فى الحالات التى يكون البلاتين أحد عنصرى الازدواج) ويكون هذا السلك مجدولاً أو مصهوراً مع طرفى سلكى المزدوجة الحرارية . وتوضع الوصلة الباردة للمزدوجة فى ثلج مجروش ، داخل قارورة مفرغة ، ثم ترفع درجة حرارة الوصلة الساخنة إلى ما دون درجة انصهار النقطة المطلوب تعيينها بعشرين درجة مئوية ، ثم ترفع بمعدل ٠,٥ – ١°م كل دقيقة . وفى العادة ترتفع القوة الدافعة الكهربائية باستمرار إلى قيمة قصوى ثم تنخفض قليلاً جدًّا إلى قيمة ثابتة حتى ينصهر السلك فتنقطع الدائرة .

٧/١/٦/٣ ملاحظات خاصة بتركيب المزدوجات واستخدامها :

* تختار أسلاك التمديد المناسبة لنوع المزدوجة المستعملة ، ويوصى بوضع الازدواج – كلما أمكن – داخل أنبوبة (حجاب) موصلة توصيلاً مناسباً بالأرض لمنع التداخلات الاستاتيكية الناتجة عن خطوط القوى الكهربائية المجاورة .

* يراعى عدم وضع وصلة القياس (الوصلة الساخنة) للمزدوجة الحرارية فى مسار اللهب أو تيارات الغازات الأكثر سخونة عن الوسط الذى تقاس درجة حرارته .

* فى كثير من التطبيقات الصناعية يكون من الضرورى وضع الازدواج فى جيب واق (الشكل رقم ١٤) .



الشكل رقم (١٤)
جيوب واقية تسمح بإخراج المزدوج دون غلق أو تعطيل العملية الصناعية .

حتى يمكن إخراج المزدوجة لاستبدالها إذا استدعى الأمر دون حاجة لإيقاف أو غلق العملية الصناعية التى تقاس فيها درجة الحرارة ، ولذلك فإنه فى الحالات التى يلزم أن تكون الاستجابة سريعة (أى زمن استجابة قصير) فإنه يجب استخدام المزدوجة الحرارية عارية أو مغلفة بغلاف رقيق .

* عند قياس درجة حرارة سائل أو غاز فإنه يجب تجنب وضع وصلة القياس فى المناطق الساكنة غير الممثلة لدرجة الحرارة وتبذل عناية كافية لوضع وصلة القياس للمزدوجة داخل منطقة دوامية أو مضطربة بالوسط الساخن وذلك لتقليل تأخر النقل الحرارى ولتحسين درجة التحكم فى العملية الصناعية إذا كانت المزدوجة مستخدمة فى التحكم .

* عندما تتغير درجة الحرارة من نقطة لأخرى فى الوسط الذى تقاس

درجة حرارته ، كما فى حالة أفران المجمرة المستمرة ، فإنه يلزم إجراء مسح مبدئى لمعرفة توزيع درجات الحرارة فى الفرن باستعمال مزدوجة قابلة للتحريك (نقالى) ، ثم يتم اختيار أفضل نقطة توضع فيها المزدوجة المستخدمة فى التحكم أو الضبط .

* عند استعمال أنبوبة واقية حول وصلة القياس وجزء من أسلاك التوصيل الخاصة للمزدوجة فيجب غمرها بالقدر المناسب فى داخل الوسط الذى تقاس درجة حرارته بحيث تمنع القراءات الخاطئة بسبب انتقال الحرارة على طول الأنبوبة ، وكذلك على طول الموصلات ، والقاعدة العامة فى هذا الصدد أن يكون عمق الغمر فى السائل أكبر ما يمكن على ألا يقل بحال من الأحوال عن عشرة أمثال القطر الخارجى لأنبوبة الوقاية ، ومع ذلك فإنه يمكن باستخدام تصميمات مناسبة لتجميعات المزدوجة — الحرارية أن يكون الغمر أقل مما هو محدد بالقاعدة العامة السابقة .

* عندما تكون درجة الحرارة المطلوب قياسها أكبر من درجة الحرارة المناسبة لأنبوبة الوقاية فإنه يراعى وضع المزدوجة الحرارية رأسيًّا بقدر ما تسمح به الظروف حتى يمنع ارتخاء الأنبوبة الواقية .

* يمكن زيادة المقاومة الميكانيكية لوصلة القياس بجدل (لى) السلكين الخاصين بها عدداً من اللفات ، قريباً من نقطة الاتصال بينهما ، ولكن يجب فك هذه اللفات فى الحالة التى يوجد فيها تدرج لدرجة الحرارة عند وصلة القياس .

٣/٦/١/٨ مزايا المزدوجة الحرارية وعيوبها :

يمكن سرد المزايا الرئيسية للمزدوجة الحرارية فيما يلى :

١ — سهولة التصميم والتشغيل .

٢ — صغر الحجم والمرونة إذ يمكن تركيبها فى أى حيز حتى لو كان الوصول إليه صعباً نسبيًّا .

٣ — تكاليفها قليلة إذ أن العناصر الأولية التى تصنع منها رخيصة الثمن .

٤ - يمكن استبدال أي من وحدات مجموعة القياس منفردة بأخرى من ذات نوعها .

٥ - صلاحيتها للاستخدام في مدى كبير من درجات الحرارة وبدقة عالية .

وللمزدوجة الحرارية أيضاً عيوبها التي تتمثل في الآتي :

* الإشارة الخارجية منها تكون صغيرة نسبيًّا مما يقتضي وجود أجهزة قياس حساسة . وأنه من الضروري معرفة درجة حرارة الوصلة المرجعية أو التعويض عنها ، كما أن دقة قراءتها عرضة للتغير إذا استخدمت لفترة طويلة ، وبصفة خاصة عند الحد الأعلى لدرجة الحرارة الخاص بها .

٣/٦/٢ ترمومترات المقاومة الكهربائية :

استخدمت ترمومترات المقاومة لقياس درجة الحرارة منذ زمن طويل . وأفضل استخداماتها يتمثل ، بصفة رئيسية ، في مجال القياسات التي تتطلب دقة عالية ولكنها في الوقت ذاته تقع في مدى ضيق من درجات الحرارة ، ويتكون ترمومتر المقاومة من عنصر حساس لدرجة الحرارة (مقاوم) وجهاز لقياس المقاومة والموصلات الكهربائية التي تصل بينهما .

وتعتمد ترمومترات المقاومة في عملها على أن المقاومة الكهربائية للعنصر الحساس ، الذي يكون غالباً على شكل سلك معدني ، تتغير بتغير درجة الحرارة ، وعلى هذا يمكن قياس درجة الحرارة بقياس مقاومة عنصر حساس معاير معرض لدرجة الحرارة المطلوب قياسها . وتعاير مقاومة الترمومتر عند درجات حرارة معلومة ومستقرة مثل نقاط التجمد والغليان لمواد معينة . ويطلق على مقدار التغير في المقاومة المناظر لتغيير في درجة الحرارة مقداره ١ْم «معامل درجة الحرارة للمقاومة» . وهذا المعامل يكون ثابت القيمة للمعادن النقية في مدى معين من درجات الحرارة ، فمثلاً قيمته بالنسبة لمقاوم من البلاتين النقي في المدى ما بين صفر ، مائة درجة مئوية هو ٠,٠٠٣٩٢

أوم/أوم/ (م) . وتكون قيمة هذا المعامل موجبة دائماً بالنسبة للمواد جيدة التوصيل للكهرباء (أى الموصلات) وسالبة بالنسبة للمواد من أشباه الموصلات وتشمل المواد شائعة الاستخدام فى صناعة العناصر الحساسة لترمومترات المقاومة المعدنية البلاتين ، النيكل ، النحاس ، وسبائك النيكل مع النحاس ، التنجستن ، ولكن أكثرها استخداماً البلاتين وذلك لأنه يمكن تمثيل العلاقة بين مقاومة العنصر الحساس البلاتينى ودرجة الحرارة بعلاقة خطية وذلك بالنسبة لمدى كبير من درجات الحرارة ، ويلى البلاتين فى الاستخدام النيكل لأن معامل درجة الحرارة للمقاومة المصنوعة منه يكون كبيراً نسبيًّا على الرغم من أن العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة ليست خطية .

٣ / ٦ / ٢ / ١ أنواع ترمومترات المقاومة :

تصنف ترمومترات المقاومة طبقاً لنوع المادة المستخدمة فى صنع المادة الحساسة وطبقاً لنوع الاستخدام إلى ما يلى :

(١) ترمومتر المقاومة البلاتينى :

اختير البلاتين للاستخدام فى صناعة الترمومترات ذات الدقة العالية نظراً لما يتميز به (أى البلاتين) من مزايا ، فالعلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة علاقة بسيطة وتنطبق فى مدى كبير من درجات الحرارة ، كما أن مقاومته النوعية عالية نسبيًّا ومعامل الحرارة للمقاومة النوعية مرض فضلاً عن أنه يقاوم التآكل ومستقر جدًّا من الناحية الفزيائية ويمكن التخلص من الإجهادات به عن طريق تسخينه فى الهواء إلى درجة حرارة عالية . والعيب الوحيد للبلاتين هو أنه قد يتلوث إذا وضع فى جو مختزل وتعرض لأبخرة معدنية ، ويوجد من ترمومتر المقاومة البلاتينى نوعان أحدهما بالغ الضباطة ويستخدم فى تعريف المقياس الدولى العملى لدرجات الحرارة فى المدى ما بين – ١٨٢,٩٦°م (نقطة غليان الأوكسجين) ، ٦٣٠,٧٤°م (نقطة انصهار الأنتيمون) أما النوع الثانى من

ترمومترات المقاومة البلاتيني فهو الذى يستخدم فى القياسات بالصناعة ويسمى تبعاً لذلك «ترمومتر المقاومة البلاتيني الصناعى» .

ويصنع ترمومتر المقاومة البلاتيني بالغ الضباطة من بلاتين نقى جدًّا على شكل سلك يلف لفًّا لولبيًّا على قطعتى ميكا متعامدتين على بعضها البعض ، وبهما حزوز توضع بها السلك البلاتيني . وبعد ذلك يُعالج السلك حراريًّا وتضبط مقاومته بحيث تكون ٢٥,٥ + ٠,١ أوم عند الصفر المئوى . ثم يلحم بكل طرف من طرفى سلك ملف البلاتين سلكا توصيل من الذهب ، ويوضع ملف البلاتين بأسلاك التوصيل داخل أنبوبة من زجاج البيركس قطرها الخارجى ٧ مم ، وتعزل أسلاك التوصيل عن بعضها بواسطة أنابيب زجاجية تفصل بينها حلقات من الميكا وتفرغ أنبوبة البيركس إلى أن يصل ضغط الهواء الجاف فيها إلى حوالى $\frac{1}{2}$ الضغط الجوى ، ثم تغلق بإحكام ، وبذلك يكون لدينا ترمومتر بالغ الضباطة صالح للاستخدام فى المدى من − ١٩٠ إلى ٥٠٠°م .

ويوجد نوعان من ترمومتر المقاومة البلاتيني بالغ الضباطة وهما يستخدمان فى القياسات الحرارية ، والنوع الأول منهما يكون جزءاً من المسعر الحرارى وفى هذا النوع يوضع ملف ترمومتر المقاومة فى أنبوبة بلاتين يتم تفريغها ثم ملؤها بالهليوم وتغلق بإحكام ، وفائدة الهليوم أنه يزيد سرعة استجابة الترمومتر للتغيرات فى درجة الحرارة وذلك نظراً لأنه ذو موصلية أكبر من موصلية الهواء ، ويناسب هذا الترمومتر القياسات فيما بين− ٢٦٩ وبين+ ٢٥٠°م أما النوع الثانى من ترمومترات المقاومة البلاتين المستخدمة فى القياسات الحرارية فيكون فيه السلك البلاتيني ملفوفاً على قطعة ميكا ذات حزوز يمر بها السلك ويغلف برقائق من الميكا ثم يوضع هذا الملف داخل أنبوبة معدنية رقيقة الجدار ويغلق ثم يفلطح الجزء من الأنبوبة الواقع أعلى الملف لكى يزيد سرعة استجابته للتغير فى درجات الحرارة . ويصنع ترمومتر المقاومة البلاتيني المستخدم فى الأغراض الصناعية من بلاتين ذى خصائص مشابهة للبلاتين المستخدم فى ترمومترات

المقاومة البلاتينية بالغة الضباطة إلا أنها تكون أقل منها ويسمح هذا الترمومتر باستخدام تيارات كهربائية كبيرة نسبيًّا أثناء القياس ويناسب الاستخدام عند درجات حرارة تصل إلى ٨٠٠°م ولا يصدأ العنصر الحساس (البلاتين) إلا أنه تجب وقايته من التلوث . وأكثر مسببات تلوث البلاتين شيوعاً هو ملامسته للسيليكا أو المواد الحرارية الحاملة للسيليكا مع وجود جو مختزل ، وذلك أن السيليكا تتحول إلى السيليكون الذى يكون سبيكة مع البلاتين مما يجعله هشًّا . ويمكن استخدام ترمومتر المقاومة البلاتينى لدرجات حرارة منخفضة تصل إلى ٢٠ كلفن (أى ٢٥٣°م) .

(ب) ترمومتر المقاومة النيكل :

يستخدم ترمومتر المقاومة النيكل فى القياسات الصناعية ويتميز برخص ثمنه ويصلح للاستخدام فى المدى ما بين – ٧٥ إلى + ١٥٠°م وهو أقل إستقراراً عن البلاتين . ويعتمد حد الخطأ فى قراءاته على دائرة القياس المستخدمة ومدى القياس ، وحد الخطأ يساوى ± ٠,٣°م فى حالة استخدام القنطرة المتوازية فى قياس المقاومة .

(جـ) ترمومتر المقاومة النحاسى :

يعتبر النحاس مادة ممتازة للاستخدام فى ترمومتر المقاومة إذ أن معامل درجة الحرارة للمقاومة فيه أكبر قليلاً من معامل البلاتين كما يمكن الحصول عليه نقيًّا ويمكن تمثيل العلاقة بين مقاومة النحاس ودرجة الحرارة بالمعادلة التالية :

مد = م. (١ + أ د) .

وبفضل هذه العلاقة يمكن قياس الفرق فى درجة الحرارة بدقة تصل إلى ± ٠,٠٥°م بواسطة استعمال ترمومترى مقاومة نحاسيين ، ومعوض لتعويض مقاومتيهما ، إلا أنه يعيب ترمومتر المقاومة النحاس ميل النحاس للتأكسد فى درجات الحرارة العالية وصغر مقاومته النوعية ، بالمقارنة مع البلاتين أو النيكل ، ويكون حجمه كبيراً إلا إذا

استخدم سلك رفيع من النحاس ، وهذا يؤدى من ناحية أخرى إلى بطء فى استجابته للتغير فى درجة الحرارة . وفى العادة تكون مقاومة ترمومتر المقاومة النحاس هى ١٠ أوم عند ٢٥°م . وتتميز هذه الترمومترات باستقرار جيد فى معايرتها ، وعلى ذلك فإنها تحتفظ بدقتها زمناً طويلاً بشرط عدم تعدى درجة الحرارة القصوى التى يوصى بها صانع الترمومتر .

(د) ترمومتر المقاومة غير المعدنى (الثرمستور) :

يصنع الثرمستور من أكاسيد معدنية أو من خليط منها ، ويستعمل لهذا الغرض أكاسيد الكوبالت والنحاس والحديد والمغنسيوم والمنجنيز والنيكل واليورانيوم والزنك والتيتانيوم والقصدير . وطريقة تصنيع الثرمستور سهلة إذ يؤخذ أحد مساحيق الأكاسيد المعدنية أو مخلوط منها ثم يضغط بحيث يعطى الشكل المطلوب ثم تسخن إلى درجة حرارة تكفى لإعادة تبلورها ، ويتم عمل نهايات التوصيل الملامسة للثرمستور بأن يدخل فيها سلكا توصيل قبل حرقها أو بالطلاء الكهربائى . وفى العادة يكون الثرمستور المستخدم فى القياسات على شكل خرزة قطرها ٢٥, — ٥,٠ مـم . مغطاة بطبقة رقيقة من الزجاج لتقليل تغيير مكوناتها فى درجات الحرارة العالية ، أما الثرمستور المستخدم فى أعمال التحكم فيكون على هيئة قرص يتراوح قطره من ٥ إلى ٢٥ مـم أو قضيب يتراوح قطره ما بين ٠,٧٥—٦ مم وبطول يصل إلى ٥٠ مم . ويمكن تمثيل العلاقة بين مقاومة الثرمستور ودرجة الحرارة المطلقة بالمعادلة التالية :

$$م = أ هـ^{ب/د}$$

حيث م هى المقاومة ، ا ،ب ثابتان تقريبا فى مدى صغير من درجات الحرارة ، د هى درجة الحرارة المطلقة ويتميز الثرمستور بأن معامل درجة الحرارة له كبير ، لهذا يمكن قياس فروق فى درجات الحرارة تصل إلى ٠,٠٠١°م ولكن يجب الأخذ فى الاعتبار أن دقة الثرمستور قد تتغير بمرور الوقت .

٣/٦/٢/٢ خصائص ترمومترات المقاومة :

المدى : من – ٢٦٩ إلى ٦٣٠°م بالنسبة لترمومترات المقاومة البلاتين القياسية
من صفر إلى ١٠٦٤°م بالنسبة لترمومترات المقاومة البلاتين القياسية
من – ١٨٢ إلى صفر °م
من – ١٩٥ إلى ١٢١°م بالنسبة لترمومترات المقاومة النحاسية
من – ٤٠ إلى ١٢١°م بالنسبة لترمومترات المقاومة النيكل

الضباطة : توفر ترمومترات المقاومة أكبر ضباطة فى مداها المفيد ، فدرجات الحرارة المقيسة بواسطة ترمومتر المقاومة البلاتين البالغ الضباطة تكون قابلة للاستعادة إلى + ٠,٠٠١° م ، وبالنسبة لترمومتر المقاومة البلاتين الصناعى فإنه يستعيد قراءاته فى حدود± ٠,١٥°م .

أما ترمومترات المقاومة المصنوعة من المعادن غير النفيسة فإنها تستعيد درجات الحرارة إلى ± ٠,٠٥°م .

الدقة : ± ٠,٠١°م بالنسبة لترمومتر المقاومة البلاتينى بالغ الضباطة .

الاستجابة : زمن استجابة ترمومتر المقاومة البلاتينى الصناعى هو ١٥ ثانية . وزمن استجابة ترمومتر المقاومة النحاس أو النيكل هو ٤٠ ثانية . وإذا استخدم لأى من هذه الترمومترات جيب واق فإن زمن الاستجابة يزيد على ضعف الزمن الخاص به بدون جيب .

٣ / ٦ / ٢ / ٣ معايرة ترمومترات المقاومة المستخدمة فى الصناعة :

تتم معايرة ترمومترات المقاومة المستخدمة فى الصناعة بطريقة المقارنة مع ترمومتر مقاومة قياسى .

٣ / ٧ ترمومترات الإشعاع :

يتكون ترمومتر الإشعاع من نظام بصرى يستخدم فى اعتراض وتركيز جزء معين من

الطاقة المشعة من الجسم المطلوب قياس درجة حرارته وعنصر لقياس درجة الحرارة .

٣ / ٧ / ١ أساس تشغيل بيرومترات الإشعاع :

توجد ظاهرة معروفة هى أن كل جسم يشع إشعاعاً عند درجات الحرارة العالية ، وشدة هذا الإشعاع ترتبط بعلاقة محددة مع درجة حرارة الجسم لذلك فإنه يمكن عن طريق قياس شدة هذا الإشعاع ، تعيين درجة حرارة الجسم . وقد يشمل هذا القياس جميع أطوال الموجات للإشعاع الصادر من الجسم أو منطقة (أو مناطق) محددة من هذا الطيف . وبصفة عامة فإن شدة الإشعاع لا تعتمد على درجة حرارة الجسم فقط بل إنها تعتمد على نوع مادة المصدر المشع ، فمثلا الكربون المتوهج يبدو متألقاً للعين حوالى ثلاثة أمثال تألق البلاتين المتوهج عندما يكون الاثنان فى درجة حرارة واحدة وبعبير عن ذلك بالقول أن قدرة الانبعاث فى الكربون هى ثلاثة أمثال قدرة الانبعاث فى البلاتين عندما يكونان فى درجة حرارة واحدة . وتسمى المادة ذات أعلى قدرة انبعاث «الجسم الأسود المشع» ويشار إليها بالجسم الأسود ، وهذا الجسم الأسود تكون انبعاثيته مساوية للواحد الصحيح . وبمقتضى هذا التعريف تكون قدرة انبعاث أية مادة حقيقية أقل من الواحد الصحيح ، ويعرف الجسم الأسود أيضاً بأنه جسم يمتص جميع الإشعاعات الساقطة عليه عند جميع درجات الحرارة دون أن ينتقل أو يعكس أى قدر من هذه الطاقة الشعاعية أياً كان طول الموجة أو اتجاه سقوط الإشعاع أو الاستقطاب . وهذا الجسم يبدو لنا أسود مطلق السواد عندما يكون بارداً لأنه يمتص كل الضوء الساقط عليه ، وتعرف قدرة إمتصاص سطح الجسم الأسود بأنها جزء من الإشعاع الذى يمتصه الجسم الأسود ، وهى لذلك تساوى الواحد الصحيح . ويمكن تحقيق الجسم الأسود عملياً بتسخين محتوى أجوف ، ثم ملاحظة الإشعاع من فتحة أو ثقب فى جداره . وتعتمد شدة الإشعاع المنبعث من هذه الفتحة على درجة الحرارة وحدها وليس على نوع المادة الموجودة داخل هذا المحتوى .

قانون «استفان بولتزمان» :

يعبر عن القدرة الكلية أو الدفق الإشعاعي لجميع الموجات (ق) المشعة من وحدة المساحة من جسم أسود تام بالعلاقة التالية :

$$ق = س\ د^{٤}$$

حيث س ثابت «استفان بولتزمان» ، د درجة الحرارة بالكلفن (= درجة الحرارة المئوية + ٢٧٣,١) .

وقد أمكن قياس درجة حرارة مصدر مشع بقياس شدة إشعاعه وتطبيق قانون «استفان بولتزمان» . .

وإذا كان لدينا جسم درجة حرارته $د_{١}$ معد بحيث يستقبل إشعاعاً صادراً من مصدر درجة حرارته $د_{٢}$ فإن الجسم يتلقى طاقة حرارية بمعدل $س\ د_{٢}^{٤}$ ويصدر في نفس الوقت حرارة بمعدل $س\ د_{١}^{٤}$ ، وإذا كان $د_{٢}$ أكبر كثيراً عن $د_{١}$ فإن الجسم يكسب حرارة بمعدل $س\ (د_{٢}^{٤} - د_{١}^{٤})$ ويمكن إهمال $د_{١}^{٤}$ لأنها تكون أصغر كثيراً عن $د_{٢}^{٤}$ ويكون معدل الحرارة المكتسبة مساوياً $س\ د_{٢}^{٤}$ أي أن هذا المعدل يتناسب مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة للمصدر المشع . وقد بنيت معظم ترمومترات الإشعاع الكامل على قانون «استفان بولتزمان» .

قوانين «فين» :

يعتمد تشغيل البيرومترات البصرية على ظاهرة أن الجسم يصدر إشعاعاً عند جميع الموجات وأن شدة الإشعاع وتوزيعه الطيفي ترتبط بعلاقة محددة مع درجة حرارة الجسم ذاته ، إذن يمكن تعيين درجة حرارة الجسم عن طريق قياس إشعاعيته ، وفي حالة البيرومترات البصرية فإنه يتم قياس الإشعاعية في الجزء المرئي من الطيف ويكون ذلك عند طول موجة مقداره ٠,٦٥ ميكرومتر وتسمى العلاقة بين الإشعاعية ودرجة الحرارة بقانون «فين» .

وإذا سخن جسم ما فإنه يبدو أن لونه يتغير ، ويرجع ذلك إلى أن الطاقة الكلية وتوزيع الطاقة المشعة فيما بين أطوال الموجات المختلفة يتغير بارتفاع درجة الحرارة ، وعندما تكون درجة حرارة الجسم ٥٠٠° م فإن الجسم يكون أحمر اللون بوضوح وبارتفاع درجة الحرارة إلى ٧٠٠° م فإن اللون الأحمر الواضح يتحول إلى أحمر باهت ، وعند ٩٠٠° م يصبح أحمر مثل لون الكريز ويتحول إلى البرتقالى عند ١١٠٠° م ويصير أبيض اللون عند درجات حرارة أعلى من ١٤٠٠° م وذلك لأن الجسم يشع حينئذ جميع ألوان الطيف المرئى .

وقد وجد أن طول موجة الإشعاع ذى أقصى شدة يقصر كلما ارتفعت درجة الحرارة ويعبر عن ذلك بما يعرف باسم قانون « فين » للإزاحة .

ل ق د = ثابت = ٢٨٩٨ ميكرومتر كلفن .

حيث ل ق هو طول الموجة المناظر لشدة الإشعاع القصوى ، د درجة الحرارة بالكلفن . ويعبر عن القيمة الحقيقية الإشعاعية الطيفية عند طول الموجة ل ق بما يعرف بقانون فين الثانى

ا ل ق = ثابت × د٥

حيث ال ق هى القيمة القصوى للإشعاعية الطيفية عند طول أية موجة أى قيمة الاشعاعية عند ل ق ، د هى درجة الحرارةبالكلفن ، ويجب ملاحظة أن الإشعاعية القصوى عند طول موجة معينة هى التى تتناسب مع د٥ أما الإشعاعية الكلية لجميع أطوال الموجات فهى تتناسب مع د٤ حيث إنها تعطى بقانون « استفان بولتزمان » .

وقد استنبط « فين » أن التركيز الطيفى للإشعاعية أى الإشعاع المنبعث من وحدة الزاوية الفراغية لكل وحدة مساحة من فرجة صغيرة من محتوى ذى درجة حرارة منتظمة ، وفى اتجاه عمودى على هذه المساحة فى مدى أطوال الموجات ما بين ل ، ل + δ ل

يعطى بالعلاقة التالية :

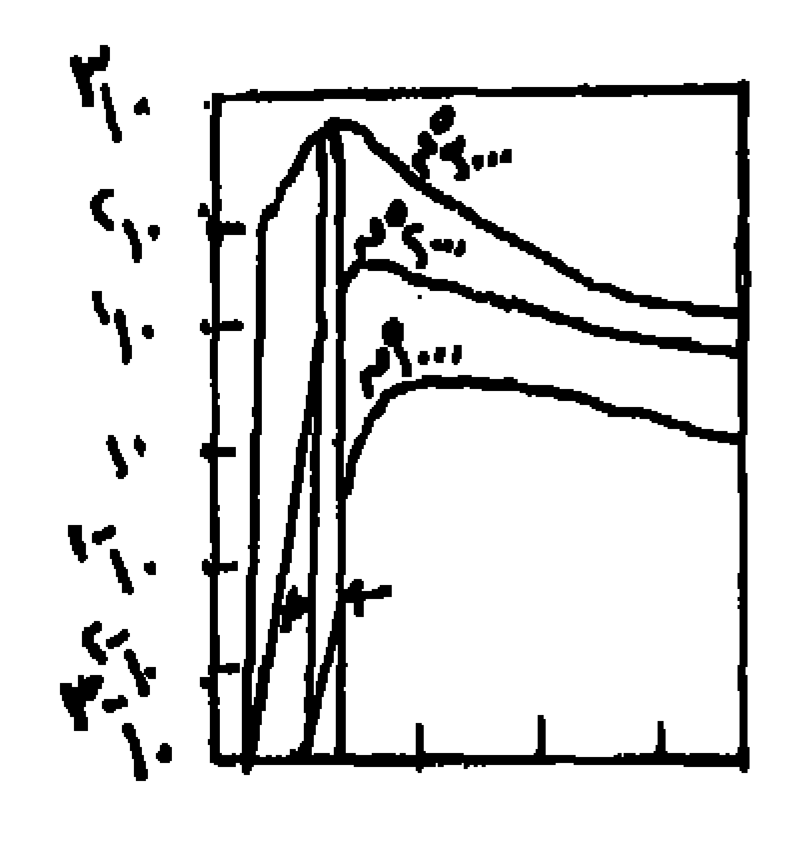
$$\text{ا ل} = \frac{\text{ث}_{١}\ \text{ل}^{-٥}}{\text{هـ}^{\text{ث}_{٢}/\text{ل د}}}$$

حيث ث ، ث٢ ثابتان . وهذه المعادلة مناسبة أكثر من المعادلة السابقة وتنطبق بانحراف يقل عن ١٪ عما ينتج عن تطبيق قانون « بلانك » للإشعاع المستخدم فى تعريف المقياس الدولى العملى لدرجة الحرارة (١٩٦٨) على أن تكون قيمة ل د=٣×١٠ ٣ متر كالفن .

وقد استنبط « بلانك » فى عام ١٩٠٠ من أسس نظرية ميكانيكا الكم قانون التوزيع الطيفى للطاقة المشعة من جسم أسود مشع بدلالة درجة حرارة د ، مع اعتبار معامل انكسار الوسط المحيط مساوياً للواحد الصحيح :

$$\text{أ ل} = \frac{\text{ث}\ \text{ل}^{-٥}}{\text{هـ}^{\text{ث}_{٢}/\text{ل د}} - ١}$$

حيث أل توزيع إشعاعية لجسم أسود عند طول موجة ل ، ث١ = ثابت فى قانون بالنك ، ث٢= ١٤٣٨٨ ٠,٠ متر كلفن ، وباقى الرموز هى نفسها كالسابق . ويوضح الشكل رقم (١٥) توزيع « بلانك » للإشعاع ووظيفة الترمومتر البصرى هو تعيين أل فى قانون بلانك .



شكل رقم (١٥)
دالة بلانك لتوزيع الإشعاع

٢/٧/٣ أسس قياس درجات حرارة الأجسام الساخنة :

يمكن قياس درجة حرارة الجسم الساخن بإحدى الطرق الثلاث التالية :

أولا : تقاس الإشعاعية الكلية بواسطة ترمومتر الإشعاع الكلى الذى يسمى أيضاً بيرومتر الإشعاع الكامل وهذا البيرومتر يتلقى أقصى مقدار من الطاقة المشعة عند جميع أطوال الموجات ، وبصفة عامة يكون العنصر الحساس (الكاشف) قادراً على قياس الإشعاع فى مدى واسع من أطوال الموجات ، ولكن أطوال الموجات الفعلية المستقبلة تحددها المواد المستخدمة فى النظام البصرى وتكون الطاقة المستقبلة ممثلة بالمساحة الواقعة تحت المنحنى المعطى فى شكل رقم (١٥) وهى تعطى بقانون « استفان بولتزمان » ، ومن ثم يمكن حساب درجة حرارة المصدر .

ثانيا : يمكن قياس الإشعاعية الطيفية لجسم ساخن عند طول موجة معطاة بواسطة البيرومتر البصرى وهذا البيرومتر البصرى يتلقى الإشعاع عند طول موجة واحدة مقداره ٠,٦٥ ميكرومتر (شعاع أحمر اللون) وفى العادة يستجيب الترمومتر — لحزمة مقدار إتساعها ٠,٠١ ميكرومتر عند ٠,٦٥ ميكرومتر ويمكن الاستعانة بالمنحنيات الموضحة فى الشكل (١٥) معرفة تغير الطاقة عند هذه الموجة مع درجة حرارة المصدر ، وبالتالى تعرف درجة حرارة المصدر .

ثالثا : يمكن قياس إشعاعية جسم ساخن فى حزمة من أطوال الموجة بواسطة عنصر مستقبل مثل خلية كهروضوئية ، وتعتمد الحزمة على نوع العنصر المستقبل الحساس المستخدم ، ويعاير هذا النوع من البيرومترات بتوجيهها بحيث يتم رصد فتيلة مصباح مصنوعة من شريط من التنجستن معلومة درجة حرارتها بدلالة التيار الكهربائى المار بها .

مما سبق يتضح أنه يمكن تصنيف بيرومترات الإشعاع إلى ثلاثة أنواع رئيسية هى :

بيرومترات الإشعاع الكلى

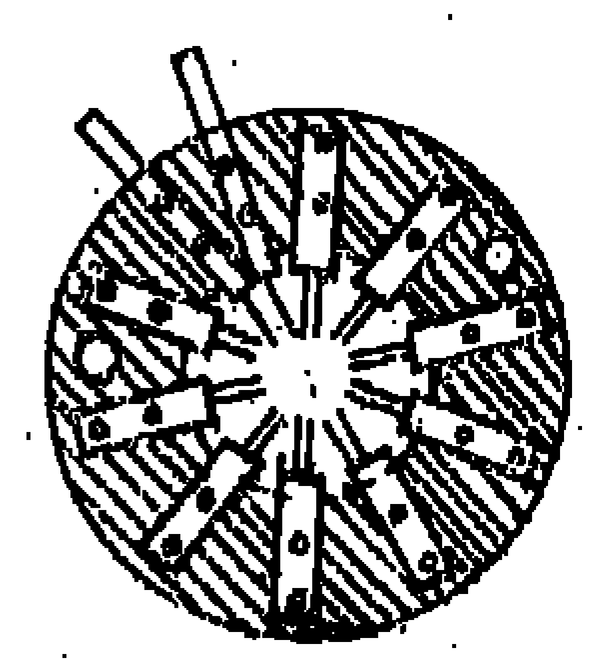
البيرومترات البصرية

البيرومترات الكهروضوئية .

٣ / ٧ / ٣ بيرومترات الإشعاع الكلى :

يعمل هذا النوع من البيرومترات بتركيز الإشعاع الصادر من الجسم المطلوب قياس درجة حرارته على عنصر حرارى ، ويكون هذا العنصر مزدوجة حرارية أو ثرموبيل (مجموعة من المزدوجات موصلة على التوالى) أو عنصر مقاومة عبارة عن شريحة رقيقة من البلاتين عادة ، وبذلك يمكن قياس درجة الحرارة المطلوبة كما سبق أن أوضحنا .

وفى قطاع الصناعة يكثر استعمال بيرومترات الإشعاع ذات الثرموبيل نظراً لما تتميز به من استقرار لخصائصه الحرارية الكهربائية لأن الوصلات الساخنة يندر أن تصل إلى درجة حرارة أعلى من عدة مئات من الدرجات المئوية ، ولا تتعرض المزدوجات للأجواء الملوثة للأفران ، وبالإضافة إلى استقرار خصائص الثرموبيل فهى أيضا ذات استجابة مماثلة لطاقة الإشعاع الداخل بغض النظر عن طول الموجة فى المدى ٠,٣ — ٢٠ ميكرومتر إلا أنه يعيب الثرموبيل بطء سرعة استجابتها نسبياً وهى التى تعتمد على كتلة عناصر المزدوجات وعلى معدل انتقال الحرارة من الوصلات الساخنة إلى الباردة . ويوضح الشكل رقم (١٦) ثرموبيلا نموذجياً مستخدماً فى التطبيقات الصناعية بكثرة



شكل رقم (١٦)
ثرموبيل بيرومتر الإشعاع .

وهو يستجيب لـ ٩٨ ٪ لأى تغير متدرج فى الإشعاع الداخل فى خلال ثانيتين فقط ، ويمكن الحصول على أنواع خاصة من الثرموبيلات يقل زمن الاستجابة فيها إلى نصف ثانية فقط بدلا من ثانيتين ، غير أن ما تنتجه من قوة دافعة كهربائية يكون منخفضاً .

ومن المرغوب فيه ألا تعتمد بيانات بيرومتر الإشعاع بالنسبة لمدى كبير نسبيًا من درجات الحرارة ، على المسافة بين المصدر الذى تقاس درجة حرارته وبين البيرومتر ،

وبالإضافة إلى ذلك ألا تعتمد ، فى حدود معقولة ، على حجم المصدر وذلك فى حدود معقولة . وقد أمكن تحقيق هاتين الخاصتين باستعمال مرآة واحدة أو اثنتين أو باستعمال عدسة ، وبالإضافة إلى ذلك فإن المرآة والعدسة تركزان الإشعاع على العنصر الحساس مما يؤدى إلى زيادة حساسية الجهاز ، وقد تكون المرآة أو العدسة مثبتة أو قابلة للتحريك . ويتطلب البيرومتر أن يكون حجم الجسم الساخن (مصدر الإشعاع) كافياً بحيث تغطى صورته العنصر الحساس . ويختلف حجم هذا الجسم تبعاً للمسافة بينه وبين البيرومتر ويحدد هذا الحجم فى جداول يعدها صانع البيرومتر ، فمثلا يتطلب أن يكون الجسم الساخن ذا قطر حوالى ٦٣ مم عند قياس درجة حرارته بواسطة بيرومتر على مسافة ١,٢ م منه . وعندما توضع عدسة فيما بين المصدر والمستقبل فى بيرومتر فإن العدسة تحد عرض حزمة الإشعاع المستقبلة وبصفة عامة فإنها تسمح بانتقال موجات الضوء القصيرة وتمتص نطاق الأشعة دون الحمراء ، وهذا يؤدى إلى خفض كمية الطاقة المستقبلة وبالتالى يقلل حساسية البيرومترغير أن هذا لا يؤدى إلى خطأ خطير عند قياس درجات الحرارة العالية ، ولكنه يصير مشكلة صعبة عند درجات الحرارة المنخفضة ، وذلك لسببين اثنين ، فالجسم يشع عند ١٠٠° م أقل من ٠,٠١ مما يشعه عند ١٠٠٠° م ، والإشعاع عند ١٠٠٠° م يكون بصفة رئيسية ذا موجات طويلة تمتص بزجاج العدسة ، وكنتيجة لذلك فإن الإشعاع المار عند ١٠٠° م يكاد يبلغ ٠,٠٠٠٥ من الإشعاع الذى يمر من الزجاج عند ١٠٠٠° م ، وهذا يقتضى عدم استعمال عدسات من الزجاج والبحث عن مواد بديلة ، ومن بين المواد التى يمكن استعمالها لدرجات الحرارة المنخفضة البيركس وفلوريد الكالسيوم ، والسيليكا . كما يمكن استخدام الكوارتز لقياسات المدى المتوسط من درجات الحرارة . وبذلك فإن ترمومترات أو بيرومترات الإشعاع الكلى لا تكون مناسبة لتغطية مدى قياس المزدوجات الحرارية فقط ، وإنما يمكن استخدامها لقياس درجات حرارة أعلى مما يمكن للمزدوجات قياسها ، ومع ذلك فإن بيرومتر الإشعاع الكلى لم يتقرر استعماله لاستعادة أى جزء على المقياس الدولى العملى لدرجات

الحرارة ونظراً لأن العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية الناتجة ودرجة حرارة الجسم المرصود تعتمد على تصميم البيرومتر ومواد صنعه وفى نفس الوقت لا يمكن التعبير عنها بمعادلة عامة كما هو الحال بالنسبة لترمومتر المقاومة والمزدوجة والبيرومتر البصرى ، فإنه لا يمكن إدراج بيرومتر الإشعاع ضمن أئمة قياس درجات الحرارة ، بل إنه يصنف فقط على أنه جهاز قياس صناعى مناسب لقياس درجات الحرارة حتى ٤١٥٠°م .

إستعمال وتركيب بيرومتر الإشعاع : عند استعمال بيرومتر الإشعاع لقياس درجة الحرارة فإنه يجب اتخاذ كافة الاحتياطات الضرورية لتقليل مصادر الأخطاء وبعض هذه المصادر يمكن التحكم فيها ، أما البعض الآخر فيمكن تقليلها إلى أقل حد ممكن بالأخذ فى الاعتبار تفاصيل التركيب والاستعمال ، وعلى سبيل المثال فإن الأخطاء الناتجة عن تغير فى القدرة الابتعاثية للجسم المرصود سوف تظل موجودة عندما يكون الجسم غير أسود ولكن إذا تم الرصد لدرجة حرارة الجسم من خلال أنبوبة مغلقة من طرفها الآخر ، ومن فجوة عميقة فى جسم ساخن فإنه يمكن إهمال الإبتعاثية . وهناك أيضا خطأ يعزى إلى وجود ثانى أكسيد الكربون أو بخار الماء ، أو أية غازات غير مرئية ذات حزم امتصاص للأشعة دون الحمراء وهذا الخطأ يمكن إهماله حيث إن الغاز أو البخار غير مرئى للعين ولكن الدخان على العكس من ذلك لا يمكن إهماله حيث إنه مرئى إلا أن الخطأ الناتج عنه لا يكون خطيراً .

وثمة مصدر آخر للخطأ هو ما يحدث أحياناً من امتلاء الأنابيب المغلقة من أحد طرفيها ، بغاز أو دخان ، لذا فإنه يكون من الضرورى فى مثل هذه الحالة طرد الغازات الماصة للإشعاع ، بصورة مستمرة ، بواسطة تيار هادئ من الهواء . وأيضاً فإنه إذا كان لدينا فرن به غازات ساخنة ذات درجة حرارة أعلى من درجة حرارة سطح جسم بهذا الفرن والمطلوب رصد درجة حرارته . فإن الغازات سوف تصدر إشعاعاً يدخل بيرومتر الإشعاع مع الإشعاع الصادر من الجسم ، ويؤدى ذلك إلى الحصول على قراءة عالية لدرجة الحرارة ، ولتجنب هذا الخطأ تستخدم أنبوبة مفتوحة الطرف تمد عبر جدار

الفرن بحيث يقترب أحد طرفيها من سطح الجسم الساخن ، ويمرر بها تيار هادئ من الهواء أو من غاز خامل غير ماص . وفى بعض التطبيقات ، يكون المطلوب قياس درجة حرارة جسم موضوع فى فرن محكم الغلق للمحافظة على جو من الهيدروجين أو أى غاز آخر بداخله ، لذلك تستخدم نوافذ حتى يمكن رصد الجسم بواسطة بيرومتر الإشعاع ، وهذه النوافذ تؤدى إلى حدوث أخطاء كبيرة سواء كانت مصنوعة من زجاج أو من كوارتز وهذه الأخطاء لا يمكن تجنبها ولكن يلزم تعيينها عمليًّا وإجراء التصحيح المناسب للقراءات . وهناك خطأ آخر يشبه خطأ النافذة ، وهو ينتج عن وجود تراب أو مواد غريبة على النوافذ أو العدسات أو المرايا بالبيرومتر . وهذا الخطأ يمكن التخلص منه عن طريق التنظيف الدورى للأجزاء المذكورة .

وقد يؤدى امتصاص الإشعاع فى الجو البارد ، الواقع بين الفرن والبيرومتر ، إلى أخطاء فى قراءات درجة الحرارة ولكى يضمن أن هذا المصدر لا ينتج خطأ يزيد على ١ ٪ من درجة الحرارة المقيسة حتى فى الأيام الرطبة والحارة فيجب ألا تزيد المسافة بين عدسة البيرومتر والفرن على ١,٥ م إذا كانت العدسة من الزجاج ، ١ م إذا كانت العدسة سيليكا ، ٠,٦٠ م إذا كانت العدسة من الفلوريت .

معايرة بيرومتر الإشعاع :

يمكن معايرة بيرومتر الإشعاع بالنظر إلى محتوى جسم أسود معلوم ورصد درجة حرارته من خلال فتحة خاصة . وقد صنع اتحاد بريطانى لأبحاث الحديد والصلب نوعاً خاصًّا من الأفران صالحاً لهذا الغرض . ويتكون هذا الفرن من كرة نصف قطرها ١٥ سم من مادة عاكسة ناشرة ، ويستخدم لهذا الغرض الصلب الذى لا يصدأ وسبيكة نيكل كروم (٨٠ – ٢٠) لدرجات الحرارة حتى ١٣٠٠° م ويستخدم مسحوق الجرافيت لدرجات الحرارة حتى ٣٠٠٠° م بشرط وجود جو من الأرجون بالفرن لمنع تأكسد الجرافيت . والقلب الكروى للفرن ملفوف عليه بانتظام بعنصر تسخين كهربائى

مناسب . وتكون الفتحة التى ينظر من خلالها بواسطة البيرومتر بقطر حوالى ٦٥ مم لدرجات الحرارة حتى ١١٥٠°م ، وبالنسبة لدرجات الحرارة الأعلى يكون القطر حوالى ٤٥ مم . ويوضع بالفرن عادة مزدوجتان حراريتان إحداهما عند مؤخرة الفرن والثانية فوق فتحة الرؤية مباشرة وهما تستخدمان للدلالة على ما إذا كانت درجة الحرارة منتظمة بالفرن أم غير ذلك . وتتم معايرة البيرومتر بالمقارنة المباشرة مع المزدوجة أو مع بيرومتر قياسى آخر .

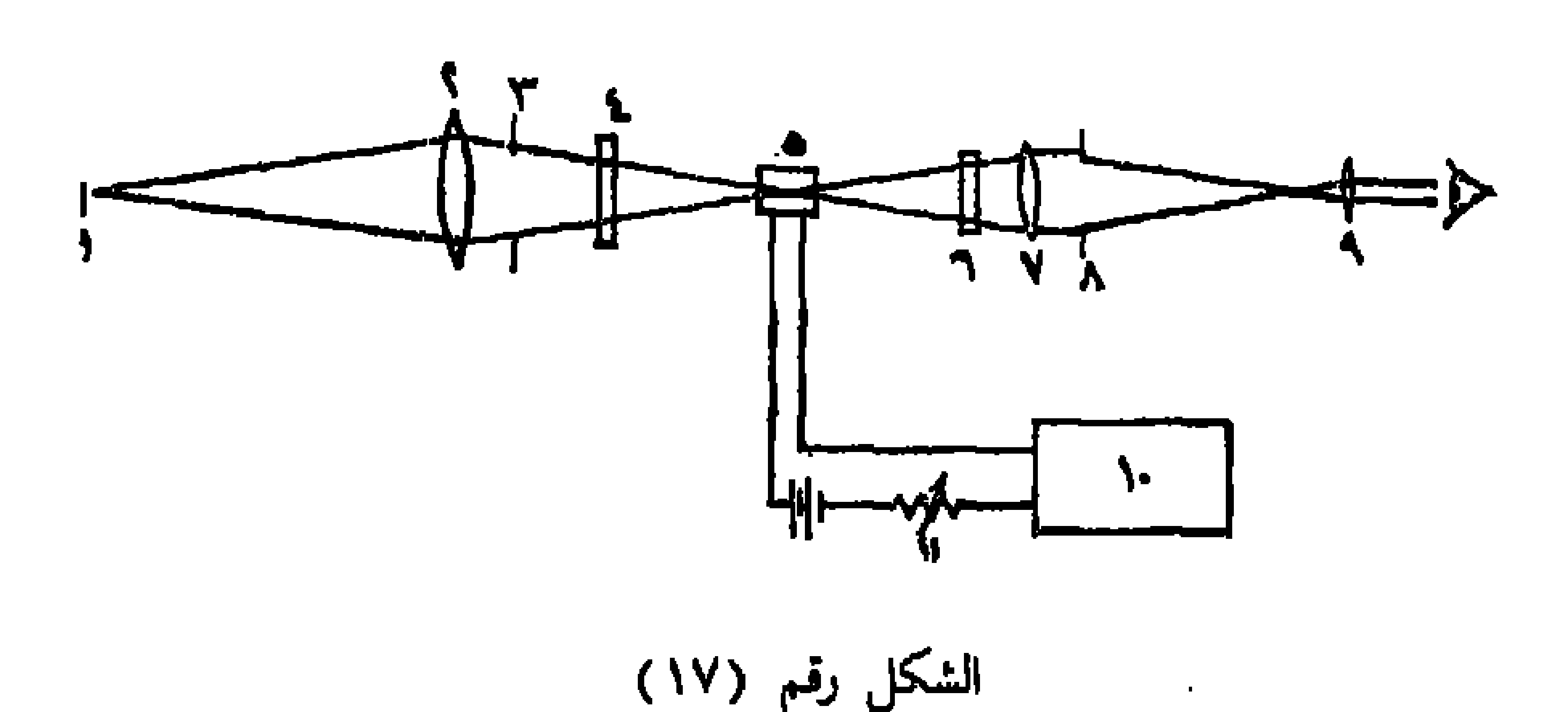
٣ / ٧ / ٤ البيرومترات البصرية :

يمكن تصنيف البيرومترات البصرية إلى قسمين ، يطلق على القسم الأول البيرومترات البصرية اليدوية والقسم الثانى البيرومترات البصرية التلقائية . ويعمل القسم الأول منها فى نطاق الطيف المرئى وتستخدم العين ككشاف للمقارنة بين المصدر المقيس ومصدر قياس معلوم ، أما القسم الثانى فهو يشبه القسم الأول فى مبدأ عمله غير أن كشف الإشعاع يتم بكشاف كهروضوئى .

(ا) البيرومترات البصرية اليدوية :

وتشمل البيرومتر البصرى ذا الفتيلة المختفية ، والبيرومتر ذا مصباح مقارنة بإشعاع ثابت . ويوضح الشكل رقم (١٧) الأجزاء الرئيسية للبيرومتر ذى الفتيلة المختفية وعند توجيهه نحو هدف (مصدر) لرصد درجة حرارته فإن عدسة الشيئية تعطى صورة حقيقية له فى مستوى فتيلة مصباح قياسية ويحتوى البيرومتر على عدسة ميكروسكوبية ، وأخرى عينية ، تقومان بتكبير صورة المصدر والفتيلة بالنسبة للراصد . ويستخدم المرشح الأحمر الواقع بين العدسة العينية والمصباح للحصول على ضوء وحيد اللون تقريباً للراصد . وعند القيام بالرصد يضبط تيار فتيلة المصباح بواسطة المقاومة المتغيرة إلى أن تصير استضاءة صورة الجزء المرجعى من الفتيلة مساوية

لاستضاءة صورة الهدف وتختفي تفاصيل الجزء المرجعي من الفتيلة فيما يحيط بها من مجال عندما يكون المصباح مضبوطاً بطريقة مناسبة . ويقاس تيار المصباح بواسطة ملي أميتر مدرج بدلالة درجات الحرارة أو بطريقة مقياس الجهد الذي يكون مدرجاً أيضاً بدلالة درجات الحرارة . ويمكن توسيع مدى قياس البيرومتر باستخدام

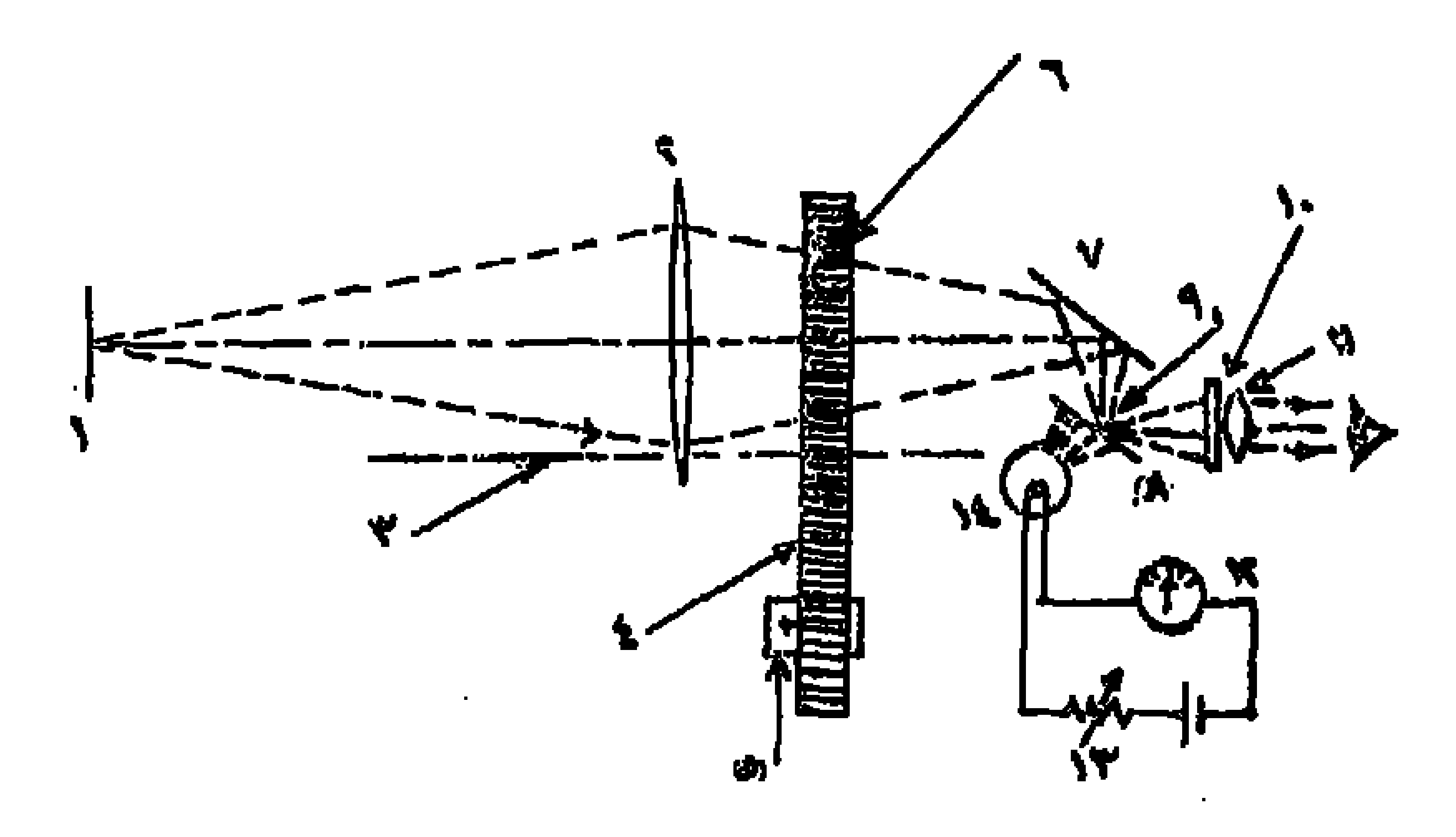


الشكل رقم (١٧)

الأجزاء الرئيسية للبيرومتر البصري .

(١) الهدف الذي تقاس درجة حرارته .
(٢) عدسته الشيئية .
(٣) فتحة الشيئية .
(٤) مرشح امتصاص (يستخدم لدرجات الحرارة العالية .
(٥) مصباح البيرومتر .
(٦) مرشح أحمر .
(٧) عدسة الشيئية للميكروسكوب .
(٨) مصد فتحة الميكروسكوب .
(٩) عينية الميكروسكوب .
(١٠) جهاز قياس التيار .
(١١) ريوستات .

مرشحات امتصاص زجاجية توضع بين الهدف والمصباح ، وذلك دون حاجة إلى فتيلة أخرى خاصة لدرجات الحرارة العالية . ويوجد بالفعل بيرومترات بصرية من هذا النوع تغطي درجات الحرارة في المدى ٧٦٠-١٠٠٠٠°م ، إلا أن معظم التطبيقات العملية تكون أدنى من ٢٥٠٠°م . ويطلق أيضاً على البيرومترات ذات الفتيلة المختلفة « البيرومترات ذات مصباح مقارنة متغير » وذلك لتمييزها عن النوع الثاني من البيرومترات البصرية اليدوية ونقصد البيرومترات البصرية ذات مصباح مقارنة بإشعاع ثابت . ويوضح الشكل رقم (١٨) الأجزاء الرئيسية له ، وفي هذا



الشكل رقم (١٨)

بيرومتر ذو مصباح مقارنة بإشعاع ثابت .

(١) هدف .

(٢) عدسة الشيئية .

(٣) محور دوران الشقين الضوئى .

(٤) تدريخ معاير .

(٥) مؤشر ثابت لبيان درجة الحرارة على التدريخ .

(٦) شقين ضوئى .

(٧) مرآة م .

(٨) مرآة (م٢) .

النوع تشتعل فتيلة المصباح عند استضاءة ثابتة يتم الحصول عليها بضبط التيار المار فى المصباح على قيمة قياسية بواسطة ريوستات وملى أميتر . ويضاهى إشعاع الهدف بإشعاع فتيلة المصباح عن طريق منشور استقطاب وغشاء إيريس أو وسيلة امتصاص مثل سفين زجاجى دائرى يوضع بين الهدف والمصباح ، وهذا السفين يخفض نصوع الضوء المشع من الهدف بحيث يضاهى نصوع بقعة على شاشة زجاجية مسنفرة (مضاءة بواسطة المصباح) فى مجال رؤية العينية . ويضبط تيار المصباح على القيمة المحددة الخاصة بها ويركز الجهاز على الهدف ويدار السفين إلى أن تختفى صورة البقعة فى صورة الهدف . وتقرأ درجة الحرارة مباشرة على تدريج مرتبط بالسفين ويحصر المرشح الأحمر فى العينية أطوال الموجات المستخدمة فى حزمة ضيقة . ومدى قياس

هذا النوع من البيرومتر هو ٧٦٠ – ٢٨٧٠° م . وتعتمد ضباطة القراءات المأخوذة بالبيرومترات البصرية اليدوية إلى حد كبير على خبرة ومهارة الراصد فمثلاً يستطيع الراصد العادى كشف عدم المضاهاة فى النصوع المكافئ لـ ٠,١ ٪ أو ٠,٢ ٪ من درجة الحرارة ١٠٩٥° م وما فوقها تبعاً لظروف الرؤية ، أما بالنسبة لدرجات الحرارة الأقل من ٨٧٠° م فإن ضباطة القراءات تقل بدرجة مطردة بسبب تناقص الإشعاع ، ونقص قدرة العين على التمييز ، فى حين تتناقص الحساسية بسبب تفلطح منحنى التيار الكهربائى ودرجة حرارة المصباح . أما دقة هذه البيرومترات فإنها تعتمد على النظام الضوئى لها وعلى ظروف القياس . فالبيرومترات ذات مدى قياس من ٨٠٠ – ١٢٥٠° م تكون ذات دقة أفضل من ± ٥° م . والبيرومترات ذات مدى قياس ١١٠٠ – ١٩٠٠° م تكون ذات دقة أفضل من ± ١٠° م ، وللحصول على دقة عالية يجب أن تكون جميع أجزاء البيرومتر عالية الجودة ومصفوفة ومجمعة بطريقة صحيحة ومناسبة ويجب أن تكون العدسات والمواد المنفذة للضوء خالية من العيوب التى تؤدى إلى تشوه أشعة الضوء أو تفرقها ، ويجب أن تعطى فتيلة التنجستن بالمصباح عند تسخينها نصوعاً منتظماً فى الجزء الواقع فى مجال الرؤية والمستخدم كمرجع للاستضاءة .

(ب) البيرومترات البصرية التلقائية :

تعتمد البيرومترات التلقائية فى عملها على أساس مشابه لأساس تشغيل البيرومتر البصرى اليدوى غير أن المقارنة تتم بواسطة كشاف – كهرو – ضوئى بدلاً من العين ، كما أن ضبط تيار المصباح يتم ألكترونيًا بنظام توازن صفرى بدلاً من اليد ، ويمكن للكشاف الكهروضوئى كشف إشعاعات ذات ترددات تقع خارج الطيف المرئى وداخله ويمكن عن طريق مرشحات ضوئية تضييق اتساع قراءاته حتى يقع فى مدى الكشاف عند حزمة إشعاع مناسبة . وثمة فارق آخر بين البيرومتر التلقائى

واليدوى أن مصباح البيرومتر التلقائى لا يركب فى مستوى صورة الهدف وبذلك فإنه يوجد قطاران ضوئيان منفصلان أحدهما خاص بإشعاع المصباح والآخر بالهدف ، وبالتالى فإن استضاءة فتيلة المصباح لا تكون بالضرورة مساوية لاستضاءة الهدف بالرغم من أن فيض الإشعاع الواصل إلى الكشاف من كل منهما يكون واحداً .

معايرة البيرومترات البصرية :

أفضل طريقة لمعايرة البيرومتر البصرى هى توجيهه نحو مصباح ذى فتيلة من التنجستن أو مصباح الجسم الأسود المعلومة درجة حرارته بدلالة تيار المصباح . وتتم المقارنة بين درجات الحرارة للبيرومتر المختبر وما يناظرها من درجات حرارة المصباح .

مزايا وعيوب البيرومترات – تتميز البيرومترات بما يلى :

(١) طول العمر حيث لا يتعرض أى جزء من البيرومتر لتأثير درجات الحرارة العالية .

(٢) يبين درجة حرارة الجسم المختبر دون أن يؤثر عليها – كما فى حالة الترمومترات الأخرى التى تمتص بصيلاتها أو أجزاؤها الحساسة جزءاً من حرارة الجسم – وعليه فإنه يمكن استخدامه لقياس درجة حرارة الأسلاك الرفيعة وما شابهها .

(٣) يتم القياس بها بسرعة كبيرة ولا تحتاج للتلامس المباشر مع الجسم المختبر وبذلك أيضاً يمكن قياس درجات حرارة الأجسام المتحركة .

(٤) يمكن الحصول بواسطة البيرومترات البصرية التلقائية على تسجيل لدرجات حرارة الجسم المشع أو التحكم فى درجات الحرارة .

ومن جهة أخرى فإن للبيرومترات أيضاً عيوبها التالية :

(١) التكاليف عالية .

(٢) انخفاض الدقة بالنسبة لبيرومترات الإشعاع الكلى .

(٣) العامل البشرى مصدر هام للخطأ بالنسبة للبيرومتر البصرى اليدوى .

(٤) تنشأ أخطاء فى حالة استعمال البيرومترات البصرية نتيجة وجود نوافذ أو دخان أو غازات متوهجة واقعة ما بين الراصد والجسم المختبر ومثل هذه الأخطاء تكون صعبة التصحيح .

٣ / ٨ المبينات اللونية :

يستدل على درجة الحرارة من ألوان أسطح التكوينات الأكسيدية التى تتكون أثناء المعالجة الحرارية للصلب . وقد أمكن إنتاج نوع خاص من السبائك لاستخدامه كمبين أو دليل لدرجة الحرارة بواسطة لونها الذى يتغير بطريقة واضحة فى المدى من ٥٠٠ إلى ٨٨٠°م .

تسجيل توزيع درجات حرارة الأجسام :

يمكن تسجيل توزيع درجات الحرارة للأجسام حتى ٤٥٥°م بواسطة التصوير بالأشعة دون – الحمراء – وفى الصور الناتجة تكون المساحات الأكثر استضاءة هى المساحات ذات درجة الحرارة الأعلى وتقل الاستضاءة كلما قلت درجة الحرارة .

الباب الرابع

قياس الرطوبة

كثير من العمليات الصناعية تقتضى توفر نسبة معينة من الرطوبة فى الوسط الذى تتم فيه ، وإلا فإنها لا تتم على الوجه المرضى ، كما أن المنتجات المصنعة تحتاج ، عند تخزينها أو نقلها ، لقدر معين من الرطوبة ، وإلا فإنها قد تفسد ، وفيما يلى بعض الأمثلة التى توضح أهمية قياس الرطوبة والتحكم فيها سواء فى الصناعة أو فى عمليات النقل والتخزين .

صناعة الغزل :

تؤثر الرطوبة تأثيراً بالغاً على جميع خصائص الألياف الصناعية والطبيعية ، ففى ظل الجفاف أو انخفاض الرطوبة تصير الألياف هشة تصعب معالجتها فضلاً عن احتمال تولد شحنات كهربية استاتيكية مما قد يؤدى إلى احتراق الألياف وما حولها ، ومن جهة أخرى فإن زيادة الرطوبة تؤدى إلى تعفن القطن ، وضعف بعض أنواع الأقمشة الاصطناعية ، وزيادة وزن الألياف ، وهذا يؤثر تأثيراً كبيراً فى ثمن سلعة تباع بالوزن .

صناعة الورق :

تلعب الرطوبة دوراً كبيراً فى صناعة الورق يشبه دورها فى صناعة الغزل ،

ولا يقتصر تأثير الرطوبة على الورق عند تصنيعه فقط ، بل إنه يمتد فى حالات كثيرة إلى استخداماته كما هو الحال عند طبع ألوان مختلفة على الورق.

عمليات التجفيف :

عدد كبير من عمليات التجفيف يعتمد بدرجة كبيرة على مقدار الرطوبة ، فالرطوبة العالية تؤخر التجفيف ، والرطوبة المنخفضة جدًّا قد تجعل سطح المادة زائد الجفاف .

حفظ المواد :

يتم وقاية البضائع المنقولة بحراً من التلف الذى يسببه الماء المتكثف ، بالعمل على أن تظل نقطة الندى لهواء عنابر السفينة أقل من درجة حرارة البضائع ذاتها . وتتوقف نسبة الرطوبة فى الأماكن التى تحفظ فيها المنتجات على السفن ، على نوع المنتج المنقول . فعندما ينقل التفاح مثلاً فإنه يلزم تبريده فى جو ذى رطوبة عالية حتى لا يصيبه الذبول، أما اللبن المجفف أو البيض فيلزم حفظه فى جو ذى رطوبة منخفضة جدًّا حتى لا يفسد . وتقاس الرطوبة بتعيين وزن كمية بخار الماء فى وحدة الحجوم أو بمقارنة كمية بخار الماء الموجودة فعلا عند درجة حرارة معينة إلى أقصى كمية من بخار الماء يستطيع الهواء احتواءها عند نفس الدرجة ، وفى الحالة الأولى يشار إلى نتيجة القياس بالرطوبة المطلقة أما فى الحالة الثانية فيشار إليها بالرطوبة النسبية وهى المستخدمة فى معظم التطبيقات الصناعية ، ويعتمد قياسها على الفرق بين قراءتى ترمومترين أحدهما جاف والآخر مبلل أو على تمدد أو انكماش المواد المختلفة أو على درجة الحرارة التى يتكثف عندها بخار الماء أو على درجة الحرارة التى تكون عندها محاليل معينة فى حالة توازن .

٤/١ قياس الرطوبة النسبية :

تقاس الرطوبة النسبية بواسطة الهيجرومتر أو السيكرومتر ، والهيجرومتر وسيلة تستخدم التغير الفيزيائى أو الكيميائى لبعض المواد عند امتصاصها لبعض الرطوبة ، ومن المعلوم أن معظم الألياف العضوية والطبيعية وأنواع كثيرة من البلورات مثل كلوريد الكالسيوم ذات طبيعة « هيجروسكوبية » أى استرطابية تمتص الماء أو تعطيه للهواء المحيط بها حتى يحدث توازن بينهما . ونتيجة لتغير رطوبتها بما تكسبه أو تفقده من رطوبة فإن أطوالها تتغير ، وتتوقف درجة امتصاص المواد الهيجروسكوبية للرطوبة على كمية بخار الماء الموجودة فى الجو أى على الرطوبة النسبية .

ويوجد نوع من الهيجرومترات يسمى الهيجرومتر الكيميائى ، وهو جهاز به أنابيب تحتوى على مادة مجففة ، وعند سحب كمية معينة من الهواء ، وإمرارها على المادة المجففة فإنها تكتسب الرطوبة الموجودة بالهواء ، وبوزن الأنابيب قبل إمرار الهواء وبعده ، يمكن معرفة مقدار بخار الماء الممتص . وبعد ذلك تمرر كمية الهواء ذاتها فى أنابيب بها صوف زجاجى به قدر من الماء يكفى لتشبع الهواء . ثم يمرر الهواء مرة أخرى بمجموعة ثانية من الأنابيب المجففة التى يتم وزنها كما فى الحالة الأولى قبل وبعد إمرار الهواء بها ، ويحسب الفرق فى الوزن وهو يمثل وزن بخار الماء الكافى لتشبع الهواء ، وبذلك يمكن قياس الرطوبة باستخدام المعادلة التالية :

$$\text{الرطوبة النسبية} = \frac{\text{وزن الرطوبة فى الهواء}}{\text{وزن الرطوبة اللازمة لتشبع الهواء}}$$

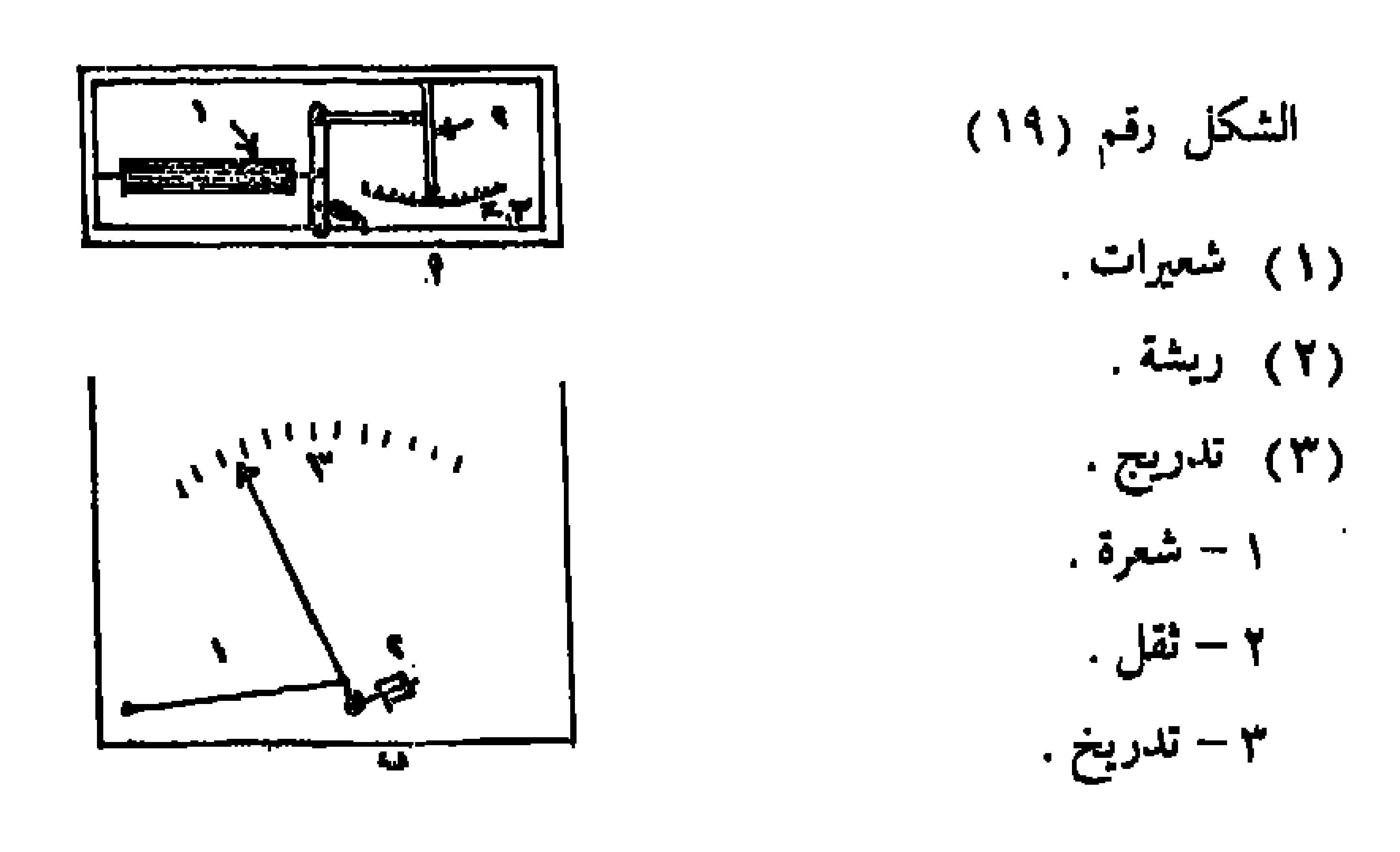
وهذه الطريقة لا تصلح إلا للقياس فى المختبرات .

٤ / ١ / ١ هيجرومتر الشعر :

وجد أن شعر الإنسان ذو طبيعة هيجروسكوبية إذ تتغير أبعاده وبصفة خاصة

الطول بتغير رطوبة الجو المحيط به . وقد تمت الإفادة من ذلك فى بناء هيجرومتر يطلق عليه هيجرومتر الشعر . ويوضح الشكل رقم (١٩) نوعاً مبسطاً من هذا الهيجرومتر .

ويمكن صنع هيجرومترات مماثلة لهيجرومتر الشعرة ولكن باستخدام ألياف أو غشاء أو قطعة جلد أو خشب رفيعة ملتصقة بشريحة معدنية ملفوفة على شكل حلزون .



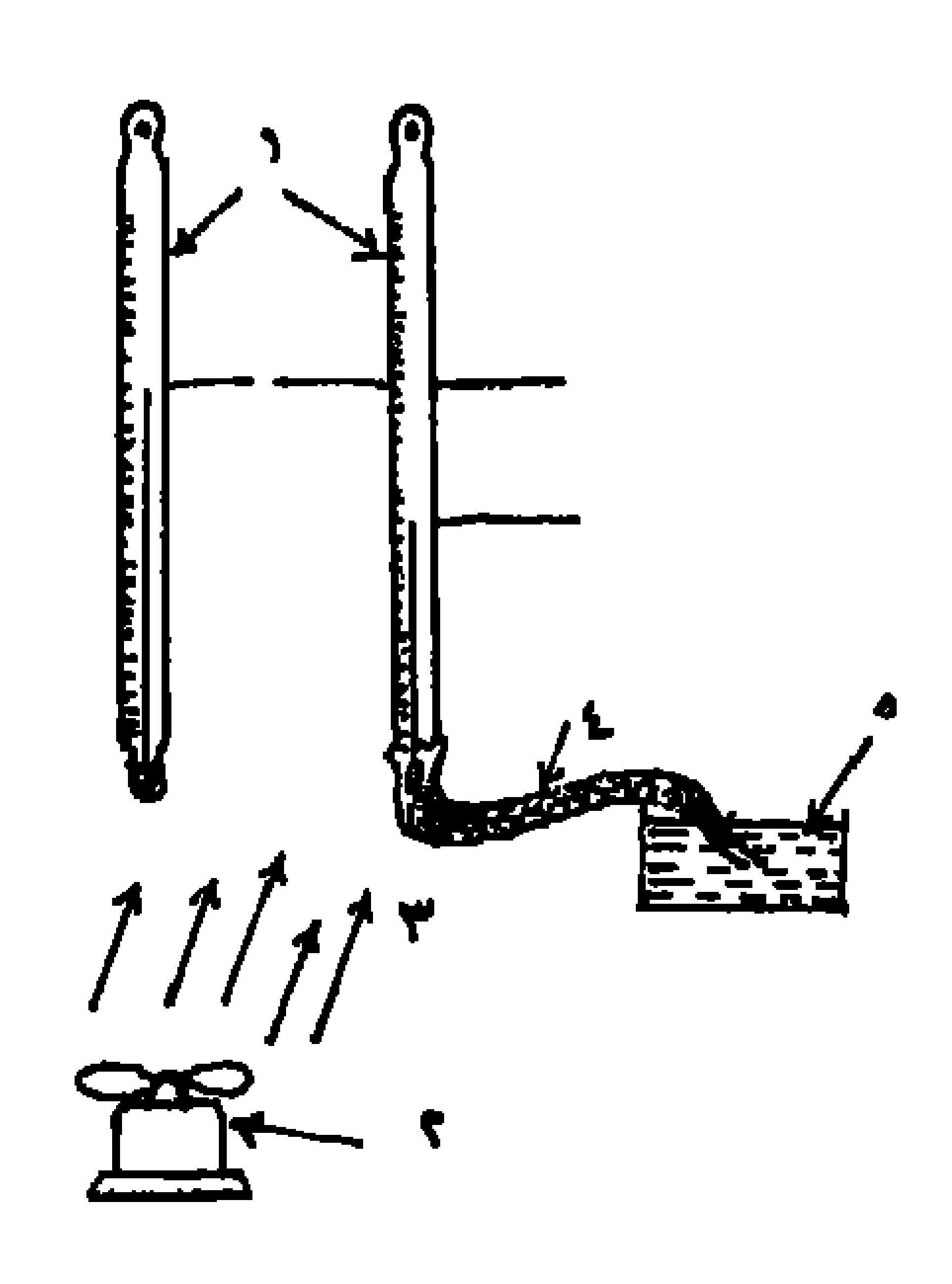
الشكل رقم (١٩)

(١) شعيرات .
(٢) ريشة .
(٣) تدريج .
١ – شعرة .
٢ – ثقل .
٣ – تدريخ .

٤ / ١ / ٢ مقياس الرطوبة ذو البصيلتين الجافة والمبللة :

توجد ظاهرة معروفة جيداً هى ظاهرة البرودة المصاحبة للتبخر ، فتبخر الأثير أو الكحول من اليد مثلا تجعل المرء يشعر ببرودة فيها ، ذلك أن التبخير يمتص الحرارة من الجسم ، ويستمر التبخر طالما كان الوسط المحيط بالجسم غير مشبع بالسائل ، وكلما كان الهواء جافاً تبخر السائل بسرعة وبالعكس . وقد أمكن الإفادة من النقص الناتج فى درجة الحرارة بواسطة التبخير لتعيين الرطوبة النسبية ويسمى المقياس المبنى على هذه الظاهرة باسم مقياس الرطوبة ذى البصيلتين الجافة ، والمبللة . وهو يتكون من ترمومترين متماثلين تماماً ، وبصيلة أحدهما مغطاة بفتيلة مبللة والآخر جاف ، ويمكن من قراءة درجة حرارة كل من الترمومترين تعيين الخفض فى درجة الحرارة نتيجة التبخر . ويلاحظ هنا أنه من الضرورى أن تظل البصيلة المبللة مزودة بمقدار

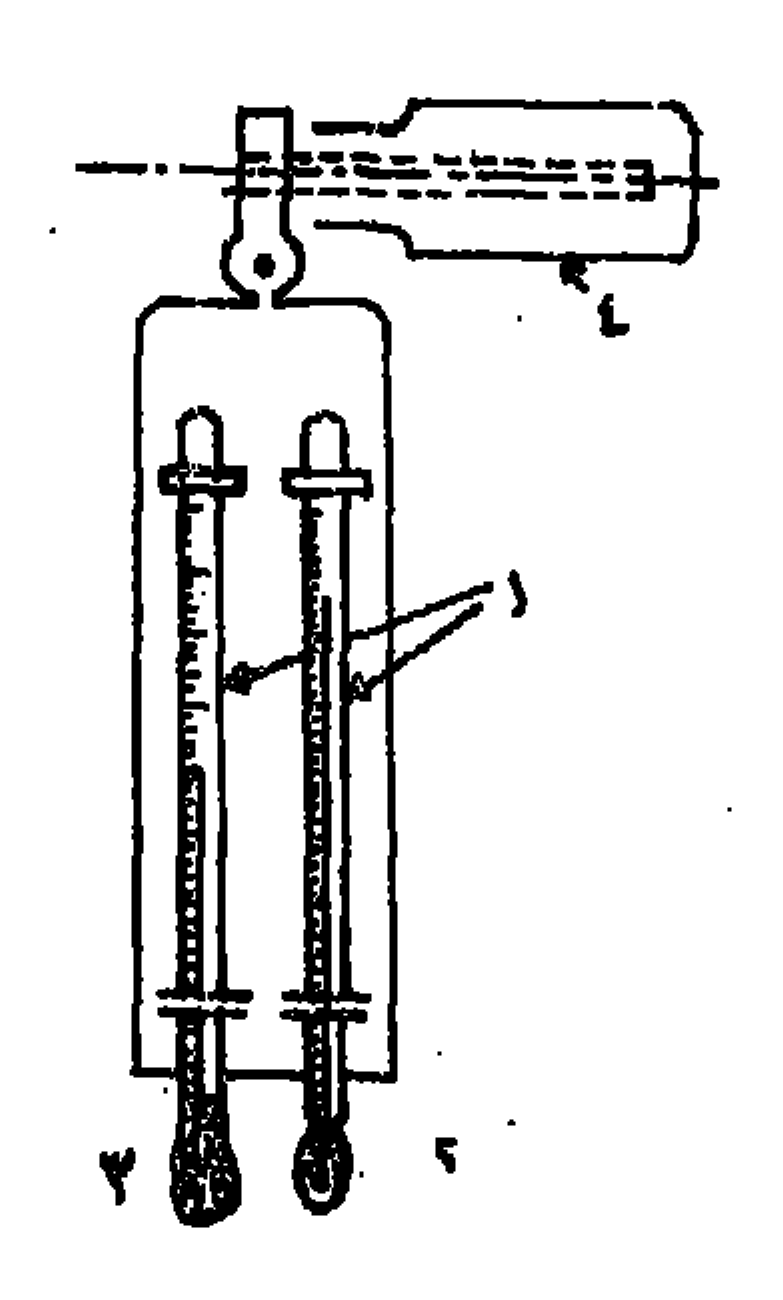
مناسب من الماء ، وإلا فإنه يستحيل ضمان أن قراءة الترمومتر ذى البصيلة المبللة تعطى أقل درجة حرارة ممكنة بالنسبة للظروف السائدة ، كما أنه من الضرورى أيضا أن يغير الهواء المحيط بالبصيلة المبللة بمعدل كاف بحيث لا يصير الهواء المجاور للبصيلة مشبعاً ببخار الماء ، وقد أدى هذا المتطلب إلى تصميم نوعين من مقاييس الرطوبة ذى البصيلتين الجافة والمبللة ، أولهما كما بالشكل رقم ٢٠ عبارة عن ترمومترين متماثلين



الشكل رقم (٢٠)

مقياس الرطوبة ذو الترمومترين الجاف والمبلل .
(١) ترمومتران .
(٢) مروحة .
(٣) تيار هواء .
(٤) فتيلة مبللة .
(٥) ماء .

بصيلة أحدهما ملفوفة فى فتيلة مبللة مغمورة من أحد طرفيها فى خزان ماء ، والأخرى جافة ويغير الهواء حول الترمومترين بواسطة مروحة كهربائية تعطى هواء سرعته حوالى ٣م/ث. والتصميم الثانى ،كما بالشكل رقم (٢١)، يتكون من ترمومترين مركبين على سنادة واحدة و يمكن إدارتهما حول مقبض باليد . وأحد الترمومترين ذو بصيلة مغطاة بفتيلة مشبعة تماماً بالماء فإذاأدير الترمومتران بسرعة معقولة فإن البصيلة المبللة تبرد ويعرف هذا المقياس باسم مقياس الرطوبة الخزروفى أو الحوام . ويتم الحصول على الرطوبة النسبية من الفرق بين درجتى حرارة الترمومترين والجداول الخاصة بالرطوبة النسبية أو بواسطة مسطرة حاسبة خاصة .



الشكل رقم (٢١)

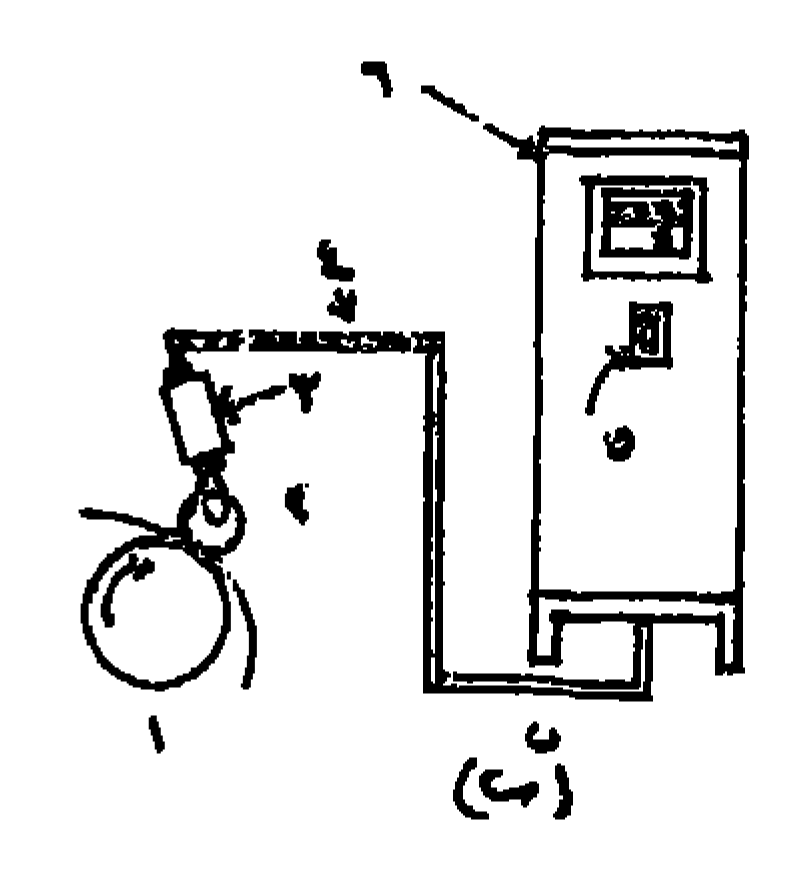
مقياس الرطوبة الخدروفى .
(١) ترمومترات .
(٢) بصيلة خامة .
(٣) قيلة مبللة .
(٤) مقبض .

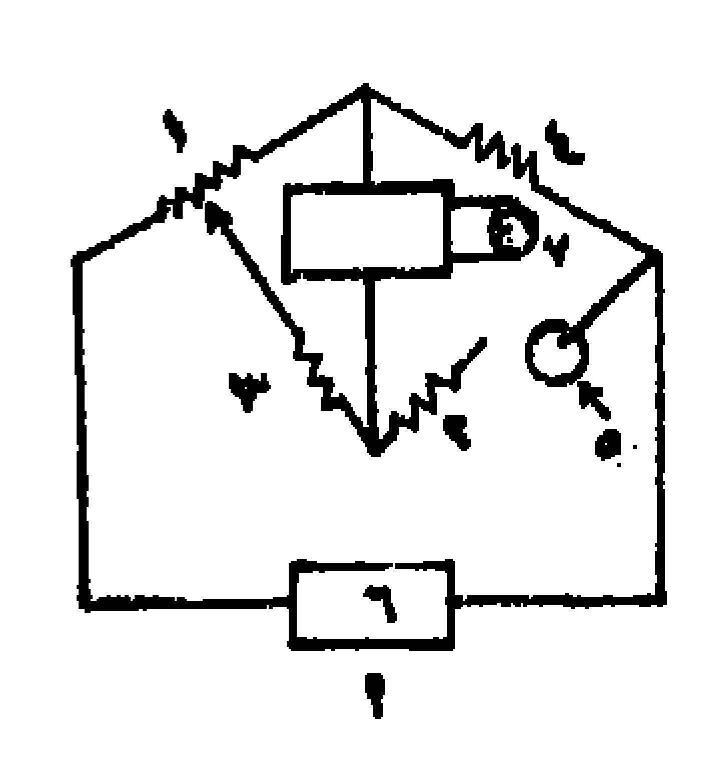
٢/٤ قياس الرطوبة فى الصناعة :

مسجلات الرطوبة :

يتم تسجيل الرطوبة فى التطبيقات الصناعية بعدة طرق مختلفة منها استخدام ترمومترين زئبقيين ، ولكن المستودعات والأنابيب الشعرية فى هذا النوع من الترمومترات ، لا تكون زجاجا وإنما من الصلب وتتصل الأنبوبة الشعرية بأنبوبة « بوردون » التى تتصل بريشة تتحرك على خارطة مدرجة بدرجات الحرارة . وتسجل الريشتان وبلونين مختلفين ، درجات الحرارة وتعين الرطوبة النسبية بملاحظة كل من درجة حرارة الترمومتر الجاف والفرق بين درجة حرارته وحرارة الترمومتر المبلل ، ثم الرجوع إلى الجداول أو الخرائط الخاصة بالرطوبة ، ويوضح الشكل رقم (٢٢) رسماً توضيحيًّا لجهاز تسجيل الرطوبة .

ويمكن أيضاً استخدام ترمومترات المقاومة أوترمومترات المزدوجة فى قياس الرطوبة وتسجيلها. وفى العادة توصل الترمومترات كل على حدة بأحد أذرع قنطرة « هويتستون » وتوازن عند درجة حرارة واحدة على الذراع الثانى . وتدخل





الشكل رقم (٢٢)

دائرة مسجل رطوبة مستخدم فى الصناعة .

١ – دلفين الماكينة (متصل بالأرض) .
٢ – دلفين الملشات .
٣ – وحدة الإشارة .
٤ – كامل ٣ م (لحد أقصى) .
٥ – محطة الإشارة الضوئية .
٦ – مسجل الرطوبة .

١ – مقاومة م .
٢ – مقاوم م٢ .
٣ – مقاومة م٣ .
٤ – مقاومة م٤ .
٥ – دلفين متصل بالأرض كهربائى .
٦ – مصدر قدرة .
٧ – جلفانومتر .

البصنيلة المبللة ثم الجافة على التوالى فى الدائرة عن طريق مفتاح كهربائى مناسب وتسجل درجات الحرارة ويمكن تعيين الرطوبة النسبية بالرجوع إلى الجداول أو الخرائط الخاصة بالرطوبة .

٤ / ٣ تعيين نقطة الندى :

تعرف نقطة الندى بأنها درجة الحرارة التى يكون عندها الضغط الجزئى لبخار الماء فى الجو أو أى غاز آخر مساوياً ضغط بخار التشبع ، وعند هذه النقطة يتحول بخار الماء الموجود فى الهواء إلى قطرات صغيرة من الماء . وكلما زاد بخار الماء فى حجم معين من الهواء عند درجة حرارة معينة ، تم الوصول بسرعة لنقطة الندى إذا

انخفضت درجة الحرارة ، ولكن إذا كان بخار الماء فى الهواء قليلا فإنه يلزم خفض درجة الحرارة أكثر بالمقارنة مع الحالة السابقة إذا أريد الوصول إلى النقطة التى لايستطيع فيها الهواء حمل الرطوبة الموجودة به .

ويمكن تعيين نقطة الندى بعدد كبير من الطرق بعضها بسيط والبعض الآخر معقد . وإحدى الطرق البسيطة تتمثل فى إمرار ماء بارد فى أسطوانة لامعة وعندما يتكون غشاء رقيق من الماء على السطح الخارجى لهذه الأسطوانة تقاس درجة الحرارة . ويمكن استخدام وسائل تلقائية للكشف عن تكون هذا الغشاء وفى التحكم فى درجة حرارة الوسط الذى يبرد الأسطوانة . ويباع بالأسواق نوع من الهيجرومترات المستخدمة فى تعيين نقطة الندى من صناعة شركة فوكسبرو الأمريكية ، ويتكون هذا الهيجرومتر من خلية حساسة للرطوبة . ووحدة قدرة كهربائية تزودها بالتيار ، ومسجل أو مبين أو وسيلة تحكم وضبط ، وتدريج هذا الجهاز معاير بدلالة درجة حرارة نقطة الندى ، وأساس عمل الجهاز هو أنه يوجد لكل ضغط لبخار الماء الملامس لمحلول ملحى ، درجة حرارة توازن بين المحلول والجو المحيط فلا يعطى أحدهما للآخر أو يمتص منه أى قدر من الرطوبة .

٤/٤ ملاحظات خاصة باستخدام أجهزة قياس الرطوبة :

(١) تبلل الفتيلة وحدها بالماء النظيف الذى لا تختلف درجة حرارته عن درجة حرارة الوسط إلا ببضع درجات ويتجنب تلوثها بالأتربة أو الأملاح الذائبة إذ أن ذلك يؤثر كثيراً فى معدل التبخر وبالتالى على درجة حرارة الفتيلة .

(٢) يراعى عدم وصول أية سوائل للبصيلة الجافة .

(٣) يتم أرجحة مقياس الرطوبة الحوام فى مدار دائرى بطريقة منتظمة لمدة تتراوح بين ١٥ – ٢٠ ثانية مع تجنب الحركات المفاجئة وأن يكون زمن الدورة الواحدة مناسباً لأنه إذا كان قصيراً جداً فإن درجة حرارة الترمومتر المبلل لن تنخفض

إلى القيمة الصحيحة ، ومن ناحية أخرى إذا كان الزمن طويلا فإن الفتيلة تجف ولا تظل عند أدنى قيمة لها .

(٤) عند استعمال الجهاز لقياس الرطوبة فى الخلاء فيراعى أن يتم ذلك فى الظل ، عند القياس فى الداخل فيراعى عدم وضعه قريباً من أى مصدر حرارى بما فى ذلك جسم الراصد ذاته .

(٥) للحصول على نتائج دقيقة باستعمال مقياس رطوبة من النوع غير الحوام فيلزم تدوير الهواء فوق وحول البصيلتين بسرعة ٤٥٠ سم / ث على الأقل ويراعى توجيهه بحيث يصل إلى البصيلة الجافة أولا .

(٦) لإجراء قياسات عند درجة حرارة دون نقطة التجمد تزال الفتيلة حيث إنه لا جدوى منها وتبلل البصيلة بكميات صغيرة من الماء توضع عليها مباشرة .

(٧) تستخدم فتائل من التيل أو القطن فقط ويجب أن تغطى الفتيلة البصيلة كلها ، كما يتم تغيير الفتيلة مرة كل أسبوع ويراعى وضعها فى الماء مدة حتى تصل لحالة الاتزان قبل الاستعمال .

(٨) يتجنب تركيب الجهاز قريبا من الأبواب أو فى الأماكن التى تكون رطوبتها غير ممثلة للقيم المطلوب قياسها .

(٩) تنظف بصيلتا الترمومترين لأن الأوساخ قد تؤدى إلى أخطاء فى انتقال الحرارة .

(١٠) إذا اختلف الضغط الجوى عن قيمة الضغط التى تمت عندها معايرة ترمومترى الجهاز فيراعى إدخال التصحيح المناسب لقراءتيهما

الباب الخامس

قياس الضغط

تعتبر قياسات الضغط من أكثر القياسات الصناعية شيوعاً فلا يكاد يخلو منها أى مصنع مهما كان صغيراً . ويكثر استعمال مقاييس الضغط ، بصفة خاصة ، فى الصناعات الكيماوية وتغطى قياسات الضغط مدى كبيراً للغاية يمتد من أجزاء من المليون من ضغط نسمة هادئة إلى ضغوط هائلة لدرجة أنها تشوه المواد تشوهاً دائماً إذا عرضت لها . ويعرف الضغط بأنه القوة الواقعة على وحدة المساحة .

٥ / ١ الضغط المطلق والضغط الفرقى :

يعرف الضغط المطلق لمائع (سائل أو غاز) بأنه الفرق بين ضغط المائع والصفر المطلق للضغط ، أى أنه الفرق بين ضغط السائل أو الغاز والضغط فى الفراغ التام ، ومن أمثلة الأجهزة التى تقيس الضغط المطلق البارومتر الذى يكون ارتفاع عمود الزئبق به مقياساً للفرق بين الضغط الجوى والضغط فى فراغ « تورشيلى » الواقع فوق الزئبق فى الجزء العلوى من الأنبوبة .

ومعظم مقاييس الضغط تقيس الفرق بين الضغط المطلق للمائع والضغط الجوى ، ولذلك يطلق على قيمة الضغط المعطاة « مدلول مقياس الضغط » ، وبطبيعة الحال تكون هذه القيم عبارة عن قياس ضغط فرق ، ويكون ضغط المقياس هو الفرق بين الضغط المطلق للمائع والضغط الجوى .

مدلول مقياس الضغط = الضغط المطلق للمائع - الضغط الجوى

أو الضغط المطلق للمائع = مدلول مقياس الضغط + الضغط الجوى .

وبعض مقاييس الضغط تعطى ضغط التفريغ أى أنها تبين المقدار الذى يقل به الضغط المطلق للمائع عن الضغط الجوى ، وفى هذه الحالة فإن :

مدلول مقياس الضغط = الضغط الجوى - ضغط المائع

ومنها

الضغط المطلق للمائع = الضغط الجوى - مدلول مقياس الضغط

أما مقاييس الضغط الأخرى خلاف النوعين السابقين ، فإن قراءة مقياس الضغط التى تعطيها تكون مساوية للفرق بين الضغط المطلق لعينة من المائع ، والضغط المطلق لعينة أخرى من المائع ذاته أو الفرق بين الضغط المطلق لمائعين حسب الحالة .

٢/٥ طرق قياس الضغط :

يمكن قياس الضغط مباشرة بطريقتين إحداهما عن طريق موازنة ضغط المائع بضغط عمود من السائل ذى كثافة معلومة والثانية بالسماح للضغط لأن يعمل (يؤثر) على مساحة معينة وحيث إن الضغط = $\frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$ أو القوة = الضغط × المساحة ، فإنه سوف تنتج قوة يعتمد مقدارها على الضغط ويمكن قياس هذه القوة بموزانتها بثقل معلوم أو بواسطة التشوه أو التغير فى الشكل الذى تنتجه فى وسط مرن . ويمكن أيضاً قياس الضغط بطرق أخرى غير مباشرة .

٣/٥ تصنيف طرق قياس الضغط :

يمكن تصنيف طرق قياس الضغط إلى ما يلى :

٥ / ٣ / ١ قياس الضغط عن طريق الموازنة مع عمود من سائل معلوم الكثافة .

وتشمل أجهزة هذا النوع ما يلى :

أنبوبة بسيطة على شكل u ذات ساق رأسية أو مائلة وتندرج تحتها أنبوبة u البسيطة المستخدمة فى التطبيقات العملية . لقياس الضغط المطلق — ولقياس الضغط الفرقى

- مانومتر ذو ورنية
- مانومتر المعايرات الدقيقة
- مانومتر سونار .
- المانومترات الصناعية

٥ / ٣ / ٢ قياس الضغط عن طريق الموازنة مع قوة معلومة ويندرج تحتها مقياس الضغط ذو المكبس ، مقياس الضغط الحلقى ، ومقياس الضغط ذو الناقوس .

٥ / ٣ / ٣ قياس الضغط بالموازنة بين قوة مؤثرة على مساحة معلومة وبين الإجهاد فى وسط مرن أنابيب بوردون من النوع الحلزونى واللولبى

الغشاء المعدنى المشدود أو المنفاخ

الغشاء الرخو (المرتخى) ، قرص تدوير

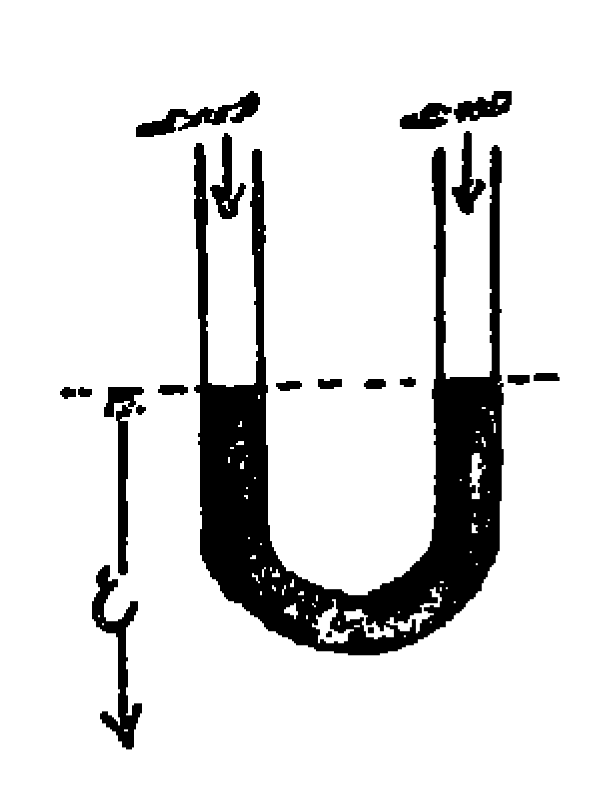
٥ / ٣ / ٤ طرق أخرى .

٥ / ٤ قياس الضغط بموازنته بعمود سائل ذى كثافة معلومة .

أنبوبة U البسيطة (أو المانومتر شكل U)

إذا كان لدينا أنبوبة على شكل U تحتوى على سائل كثافته ث وتركت تحت تأثير ضغط الهواء فقط فإن السطحين للسائل فى الساقين يكونان — كما هو موضح بالشكل رقم (٢٣) — على ارتفاع واحد بالنسبة لأى خط مرجعى .

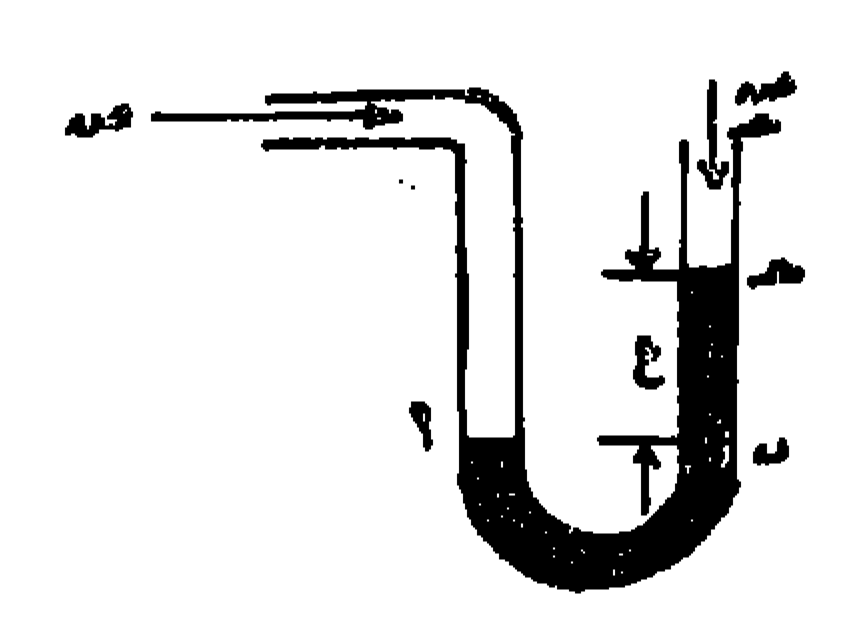
ولكن إذا وصلنا إحدى الساقين ولتكن اليسرى بمصدر هواء أو غاز أو سائل فإنه سوف يحدث قوة تعمل ، إلى أسفل ، على العمود الأيسر ، وهذه القوة سوف تزيح السائل قسراً فيصعد فى الساق اليمنى حتى يحدث توازن استاتى للضغط مرة ثانية .



الشكل رقم (٢٣)

أنبوبة بها سائل واقع تحت تأثير الضغط الجوى فى كل من ساقيها .

وهكذا فإن ارتفاع سطح السائل فى الساقين يتغير باستمرار حتى يصير الضغط متساوياً عند أى مستوى أفقى يعلو المرجع بارتفاع معين ع (الشكل رقم ٢٤) ، وفى هذه الحالة يكون .



الشكل رقم (٢٤) أنبوبة

ص جـ = الضغط الجوى .
ص = الضغط المطلوب قياسه .
ع = فرق الإرتفاع بين سطحى السائل فى السائلين .

الضغط عند ا = الضغط عند ب

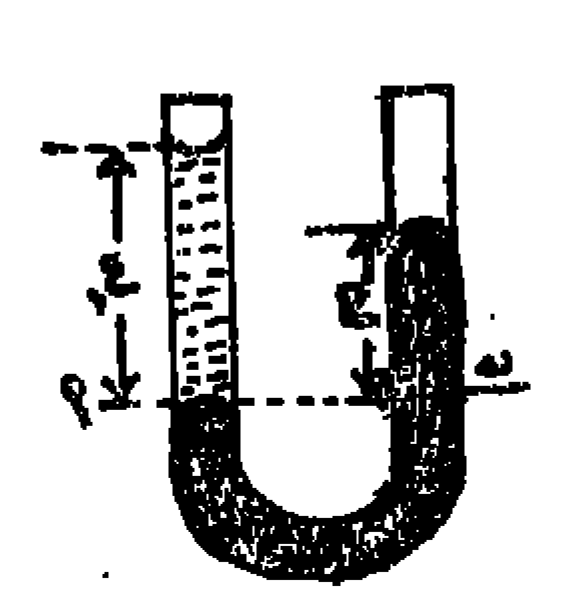
ضغط المائع عند ا = الضغط الجوى (ضجو) + ضغط عمود من السائل ب حـ

= ضجو + ع١ ث م ماء

حيث ع١ ث م ماء هى «مدلول مقياس الضغط ويرمز له «ع١ ث م ماء «مقياس» .

وإذا كان المائع فى الساق اليمنى ذا كثافة لا يمكن إهمالها بالمقارنة مع كثافة السائل بالمانومتر (الأنبوبة على شكل U) ، فإنه يصبح من الضرورى الأخذ فى الاعتبار

ضغط المائع فى المانومتر وأنابيب التوصيل فمثلا إذا كان المانومتر (شكل ٢٥) مستخدما لقياس ضغط بخار الماء وكانت الأنبوبة بين ا ومصدر البخار مملوءة بالماء الذى يبلغ ارتفاعه ع١ مم بالنسبة للمستوى ا وإذا كان السائل المستخدم فى المانومتر هو الزئبق (وزنه النوعى ١٣٫٥٥ عند ٢٠°م) ، وبافتراض أن ع هو الفرق بين ارتفاع سطحى الزئبق فى ساقى المانومتر .



الشكل رقم (٢٥)

أنبوبة ولا يوجد بإحدى ساقيها ماء .

ع : إرتفاع الماء فوق المستوى أ ب .

ع : إرتفاع السائل فوق المستوى اب .

.. الضغط عند ا = الضغط عند ب

ع١ مم ماء + ضغط البخار = ١٣٫٥٥ ع مم ماء + الضغط الجوى

ضغط البخار = (١٣٫٥٥ ع − ع١) مم ماء + الضغط الجوى

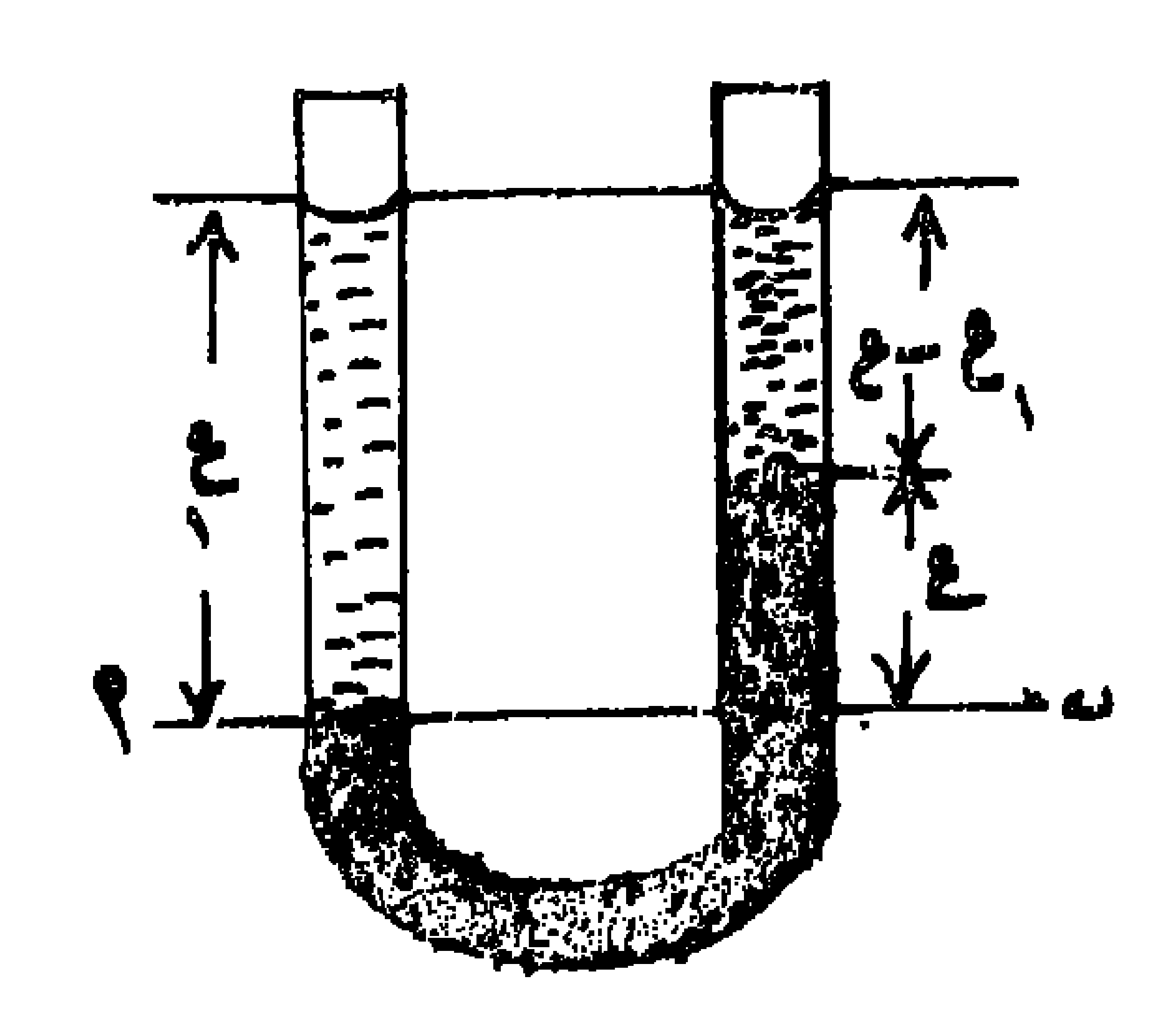
= (١٣٫٥٥ ع − ع١) مم (يد٢ ا مقياس)

وحيث إن ضغط ١ مم ماء = ٩٫٧٩ نيوتن / م ٢ = ٩٫٧٩ ن / م ٢

فإن ضغط البخار = (١٣٫٥٥ع − ع١) × ٩٫٧٩ ن / م ٢

وبطريقة مماثلة فإنه عند استخدام نفس المانومتر ذاته لقياس فرق الضغط الناتج بواسطة وسيلة خنق ، كما فى حالة قياس ضغط بخار متدفق ، فإن ساق المانومتر يكون بهما ماء فوق الزئبق فإذا كان ارتفاع الماء فوق أ (شكل ٢٥) هو ع١ وكان السطح ب يعلو أ بمقدار ع فإن ارتفاع الماء فوق ب يكون ع١ − ع وبتطبيق معادلة توازن الضغط عند أ بذلك عند ب ، يكون فرق الضغط أو الضغط الفرق = (١٣٫٥٥ − ١) ع مم يد٢ ا = ١٢٫٥٥ ع مم يد٢ ا .

وكما رأينا فإن الضغط فى هذا النوع من المانومترات يعتمد على كثافة السوائل أو

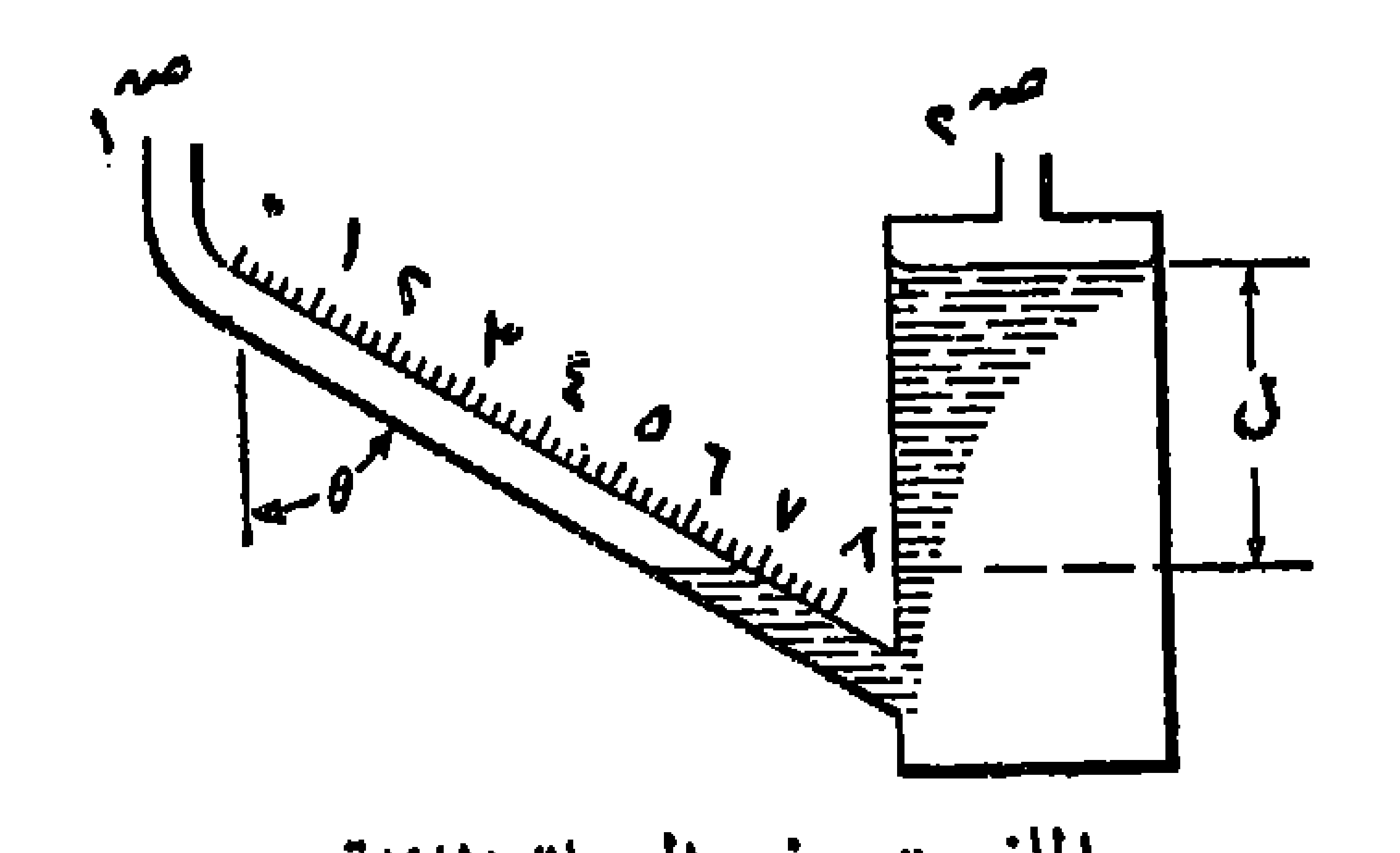


الشكل رقم (٢٦)

أنبوبة   وبها ماء فوق.
السائل فى الساقين.

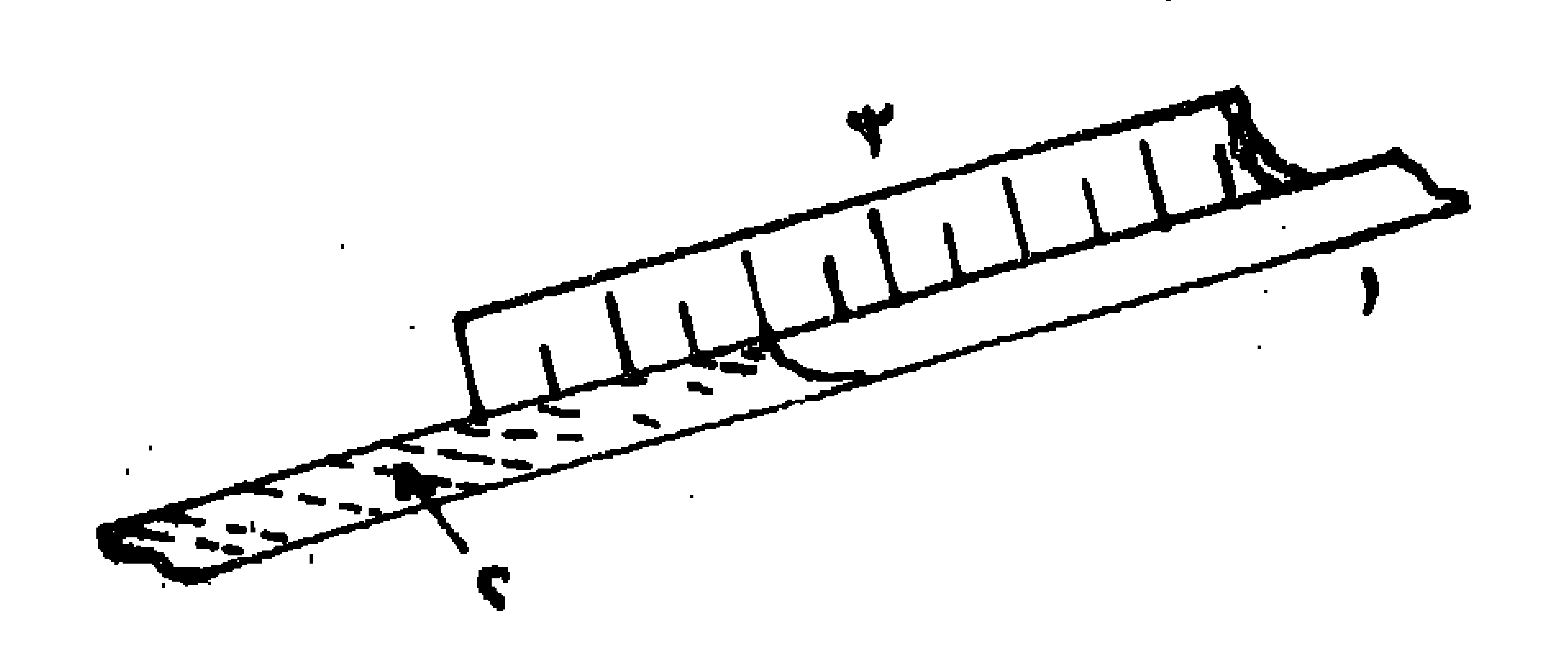
أوزانها النوعية وبما أنه يمكن استخدام موازين دقيقة لقياس هذه الكثافات ، لذا فإنه يمكن قياس الضغط بدقة بالمانومتر. وتعتبر طريقة القياس بالمانومتر هى الطريقة الأساسية أو القياسية لقياس الضغط .

وإذا كانت الضغوط المطلوب قياسها صغيرة فإنه يمكن تعديل شكل أنبوبة U وذلك بأن تكون إحدى ساقيه مائلة مما يؤدى إلى تكبير تدريجه حتى يصير طوله مساوياً أربعة أو خمسة أمثال الطول المستخدم فى أنبوبة U العادية (شكل رقم ٢٧) ، وفى العادة تصنع الأنبوبة من البلاستيك ويستخدم زيت خفيف يتم اختياره بحيث يكون خط سطح السائل فى الأنبوبة وخطوط التدريج المستعمل خطاً مستقيماً كما هو موضح بالشكل رقم (٢٨) مما يساعد على سهولة القراءة . ويصلح هذا النوع من المانومترات لقياس ضغوط تصل إلى ٤٠ مم ماء مقياس ويمكن قراءتها لأقرب ٠,٢٥ مم . ويستخدم أيضاً هذا النوع لقياس تدفق الغازات ذات الضغوط المنخفضة غير أن الأنبوبة تكون منحنية بحيث يمكن الحصول على مسافات فاصلة متساوية الأقسام على تدريج التدفق من حوالى $\frac{١}{١٥}$ من قيمة التدفق إلى التدفق الكامل .



المانومتر ذو الساق المائلة

الشكل رقم (٢٧)



الشكل رقم (٢٨)

شكل سطح السائل .

(١) الأنبوبة المائلة .

(٢) زيت .

(٣) تدريج .

المانومتر ذو الورنية :

يتكون الجهاز من أنبوبة u مرنة ، وأحد طرفيها يتصل بخزان بينما يتصل الطرف الآخر بغرفة للقياس ، والخزان وغرفة القياس يمكن تحريكهما رأسيًّا ويمكن قياس هذه الحركة بدقة . ويحوى المانومتر مقداراً كافياً من الماء لملء كل من غرفة القياس والخزان إلى منتصفهما عندما يكونان على ارتفاع واحد . ويوجد فى قاعدة غرفة القياس إبرة من الصلب الذى لا يصدأ ، مثبتة وطرفها إلى أعلى ويمكن رؤيتها هى وصورتها المكونة بالانعكاس الداخلى بزاوية ٤٥° من نافذة فى القاع . وعندما يلامس طرف الإبرة بالكاد طرف صورتها تكون الإبرة بالكاد ملامسة للجانب الأسفل لسطح الماء وبذلك فإن سطح الماء يمكن تعيينه بدقة دون أى مضايقات من تأثير التوتر السطحى . وغرفة القياس مصنوعة من سبيكة ألومنيوم وترتبط بورنية قابلة للتحريك على عمود مدرج بواسطة لولب عمود السحب ويوصل ما بين غرفة القياس والخزان النحاس بواسطة أنبوبة من البلاستيك ، والعمود المشار إليه مركب على قاعدة مزودة بمقياس الاستواء ذى الفقاعة ومسمارين ملولبين لضبط الاستواء . ويغطى هذا الجهاز مدى ضغط يمتد من صفر إلى ٢٠٠ مم يدم١ مقياس ويمكن قياس الورنية إلى ٠,٠٢ مم ماء مقياس . وهذا الجهاز يصلح لقياس ضغوط فرقية صغيرة بوحدة مم يدم١ مقياس كما هو الحال عند قياس تدفق الهواء فى مجارى بواسطة أنبوبة استاتيكية .

المانومتر القياسى (الأمامى) :

عندما يستخدم المانومتر كأمام لمعايرة غيره من أجهزة الضغط فإنه يجب تزويده بوسائل خاصة تجعل قراءاته ذات دقة وضباطة عاليتين ، فيزود مثلا بورنية لكى تجنب القارئ اللجوء إلى تقدير أقسام التدريج ، ويزود بوسيلة تلغى حاجته لتقدير

الوضع الصحيح لسطح السائل فى الأنبوبة ، ووسيلة لضمان أن عمود السائل يكون أفقياً ، كما يؤخذ فى الاعتبار أى تغير فى درجة الحرارة واختلاف الجاذبية الأرضية من مكان إلى آخر ومدى القياس فى هذا النوع من المانومتر –١٠٨٠ ملى بار ويمكن قراءته لأقرب ٠,١ ملى باربواسطة الورنية ، وتبلغ دقته حوالى ± ٠,٠٠٠٢ وحساسية حوالى ٠,٠٠٠٠٠٤ .

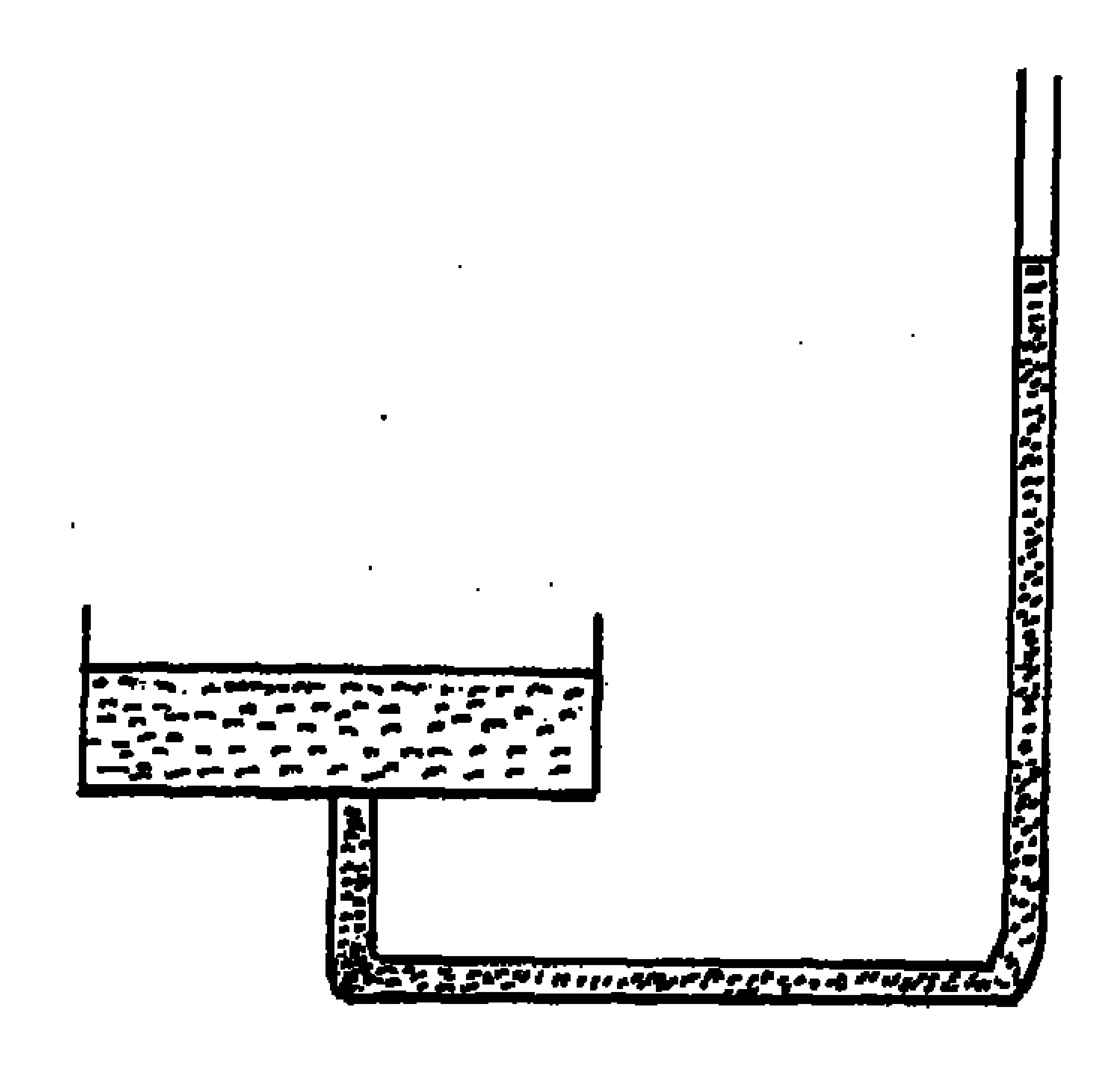
مانومتر رجع الصوت (سونار) :

هذا المانومتر عبارة عن مانومتر أمامى معدل ، يتم فيه قياس الفرق بين مستوى سطحى الزئبق فى عمودى المانومتر رقمياً ، وعرضه الكترونياً كقراءة للضغط . ويصل مداه حتى ١٠٨٠ ملى بار وأصغر وحدة به هى ٠,٠١ ملى بار . ويتم القياس فى هذا المانومتر بواسطة نظام صوتى – الكترونى تتوفر له إمكانية قراءة الضغط بأى معدل زمنى يتراوح ما بين ١٠ قراءات فى الثانية الواحدة وقراءة واحدة كل خمس ثوان ، تبعاً للضبط اليدوى لزر معدل العينات المنضبط . وعند بداية دورة القياس ترسل نبضة كهربية مستقلة إلى محول طاقة موجود عند قاع عمود الزئبق ، ويقوم كل من المحولين بتحويل النبضة الكهربائية إلى نبضة صوت فوق سمعية تسافر باتجاه السطح حيث تعكس بواسطة سطح عمود الزئبق ، وتعود ثانية إلى محول الطاقة حيث يعاد تحويلها ثانية إلى نبضة كهربائية . وبطبيعة الحال فإن النبضة التى تمر فى العمود الأقصر تصل أسرع من النبضة الخاصة بالعمود الأطول ، وذلك لأن سرعة الموجات فوق السمعية فى العمودين واحدة وعند وصول النبضة الخاصة بالعمود الأقصر إلى محول الطاقة الخاص بها فإنها تستعمل فى بدء العد لكى تغذى النبضات من مذبذب مؤقت ذى بلورة متحكم فيها إلى عداد رقمى ، وعندما تصل النبضة الخاصة بالعمود الأطول فإنها توقف العد . ويتناسب عدد النبضات المقيسة مع الفرق بين طولى عمودى الزئبق ويترجمها الجهاز مباشرة إلى وحدات ضغط .

المانومترات الصناعية :

تكون الأنبوبة شكل U ، عادة ، مصنوعة من الزجاج وتحتوى سائلا مناسباً ، ولكن بعض الاستخدامات الصناعية تقتضى أن تكون هذه الأنبوبة من مادة أكثر تحملا للاستخدام عن الزجاج . وقد استخدم لهذا الغرض أنابيب من الصلب ، ومن البديهى أنه . فى هذه الحالة ، لا يمكن رؤية سطح السائل ، وقراءته بطريقة مباشرة . لذلك تستعمل وسيلة لتحريك المؤشر الواقع خارج الأنبوبة U لبيان مستوى الزئبق بداخلها . وإذا كانت إحدى ساق الأنبوبة معرضة للجو مباشرة ، فإنه يكون من السهل وضع عوامة (جسم طاف) فى هذه الساق ، وتقوم هذه العوامة بتشغيل آلية تحريك المؤشر . وعند قياس ضغوط فرقية ، كما فى حالة قياس التدفق ، فإنه يكون من الضرورى إحكام إغلاق جانبى الأنبوبة ، مع استخدام طرق أخرى لنقل موضع سطح السائل .

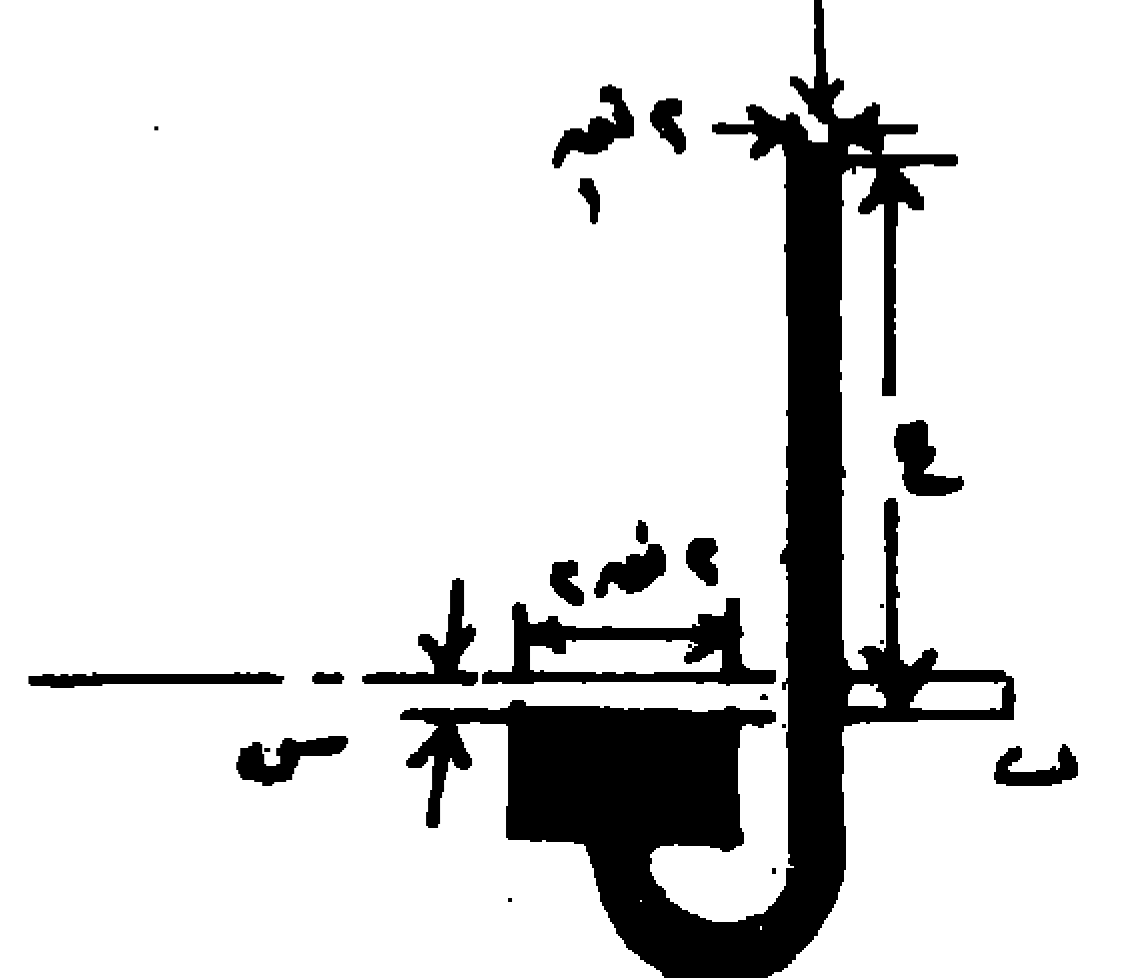
وقد وجد أنه من المناسب استخدام مانومتر ذى خزان (شكل رقم ٢٩) وهو عبارة عن مانومتر U معدل بحيث تكون إحدى ساقية كبيرة ، بالنسبة للساق



شكل رقم (٢٩)
المانومتر ذو الخزان

الأخرى ، ويطلق على الساق الكبيرة – المساحة « الخزان » ، والأخرى ساق القياس وهى عبارة عن أنبوبة صغيرة المقطع ، وعندما يعرض هذا المانومتر لضغط فرقى فإن ارتفاع الزئبق فى إحدى الساقين لا يساوى الانخفاض فى الثانية ، لأن السائل المزاح فى إحداهما لا يعطى نفس الارتفاع فى الثانية ، فمثلا إذا كانت مساحة مقطع الخزان ١٠٠ سم٢ ومساحة مقطع الأنبوبة ١ سم٢ فقط فإن عموداً من السائل ارتفاعه ١ سم فقط بالخزان عند إزاحته ، تحت تأثير الضغط ، إلى الساق الأخرى يرفع مستوى السائل بها ١٠٠ سم ، وهذا يعنى أن الارتفاع فى ساق والانخفاض فى الأخرى يعتمد على مساحة مقطعها .

وإذا فرضنا أن ضغطاً فرقياً ارتفاعه ع فى مانومتر زئبقى كما فى الشكل رقم (٣٠) ، وأن نصف قطر مقطع الأنبوبة والخزان هما نق_1 مم ، نق_2 مم على التوالى وأن انخفاض مستوى الزئبق فى الخزان س



الشكل رقم (٣٠)
المانومتر ذو الخزان

∴ حجم الزئبق المزاح من الخزان = حجم الزئبق الذى دخل أنبوبة القياس

$$\therefore\ \text{ط}\ \text{نق}_2^2\ .\ \text{س} = (\text{ع} - \text{س})\ \text{ط}\ \text{نق}_1^2$$

$$\text{نق}_2^2\ .\ \text{س} = \text{ع}\ \text{نق}_1^2 - \text{س}\ \text{نق}_1^2$$

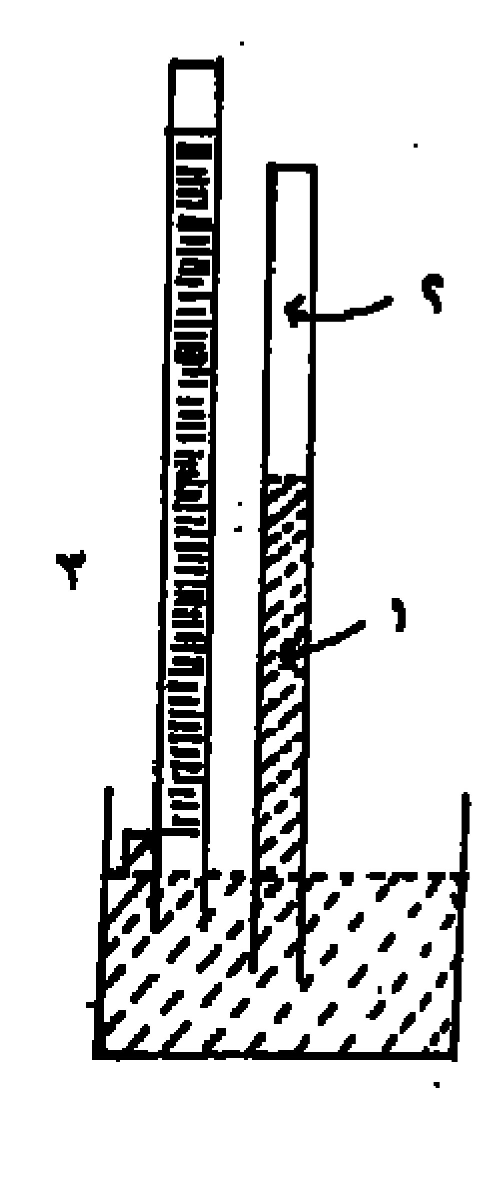
$$\text{س}\ (\text{نق}_2^2 + \text{نق}_1^2) = \text{ع}\ \text{نق}_1^2$$

$$\text{س} = \text{ع}\ \frac{\text{نق}_1^2}{\text{نق}_2^2 + \text{نق}_2^2}\ \text{مم} = \text{ع}\ \frac{\text{ق}_1^2}{\text{ق}_2^2 + \text{ق}_2^2}\ \text{مم}$$

وبذلك فإنه يمكن عن طريق التحكم فى قطرى الأنبوبة والخزان ، تحديد العلاقة بين س ، ع بحيث تكون الأولى جزءاً صغيراً من الثانية وفى ذلك مزايا واضحة ، إذ أنه يمكن تحديد المسافة التى تتحركها العوامة بالقدر المناسب نقله لآلية تحريك المؤشر ، كما أنه يمكن عن طريق تغيير قطر الخزان أو الأنبوبة تغيير مدى الجهاز دون حاجة لتغيير أى شيء آخر ، ويمكن فى حالة قياس معدل التدفق بدلالة الضغط الفرقى جعل الخزان ذا شكل مناسب بحيث تتحرك العوامة بمقادير متساوية مقابلة للتغيرات المتساوية فى التدفق ، وأخيراً فإن كبر قطر الخزان يجعل القوة المتاحة للعوامة كبيرة بما يكفى لتحريك المؤشر مع تقليل تأثيرات الاحتكاك .

البارومتر :

البارومتر (شكل ٣١) أحد أنواع مقاييس الضغط المطلق ذات الخزان ويشمل مداه أى ضغط مطلق من الصفر إلى الضغط الجوى وتكون قراءته بالمليمتر زئبق ولا يستخدم فى قياس التفريغ العالى . وللحصول على قيم صحيحة لارتفاع العمود فإن سطح السائل فى الخزان يضبط على المؤشر بواسطة تغيير حجم الخزان ، كما يستخدم تصحيح مناسب لتأثيرات التغيير فى درجة الحرارة .



الشكل رقم (٣١)

البارومتر ماهو إلا مانومتر بخزان من نوع خاص يكون فيه الضغط صفراً أو أقرب ما يمكن له) فى الجانب ذى الضغط الأدنى ويضبط التدريج بحيث يكون المؤشر دائماً عند سطح السائل .

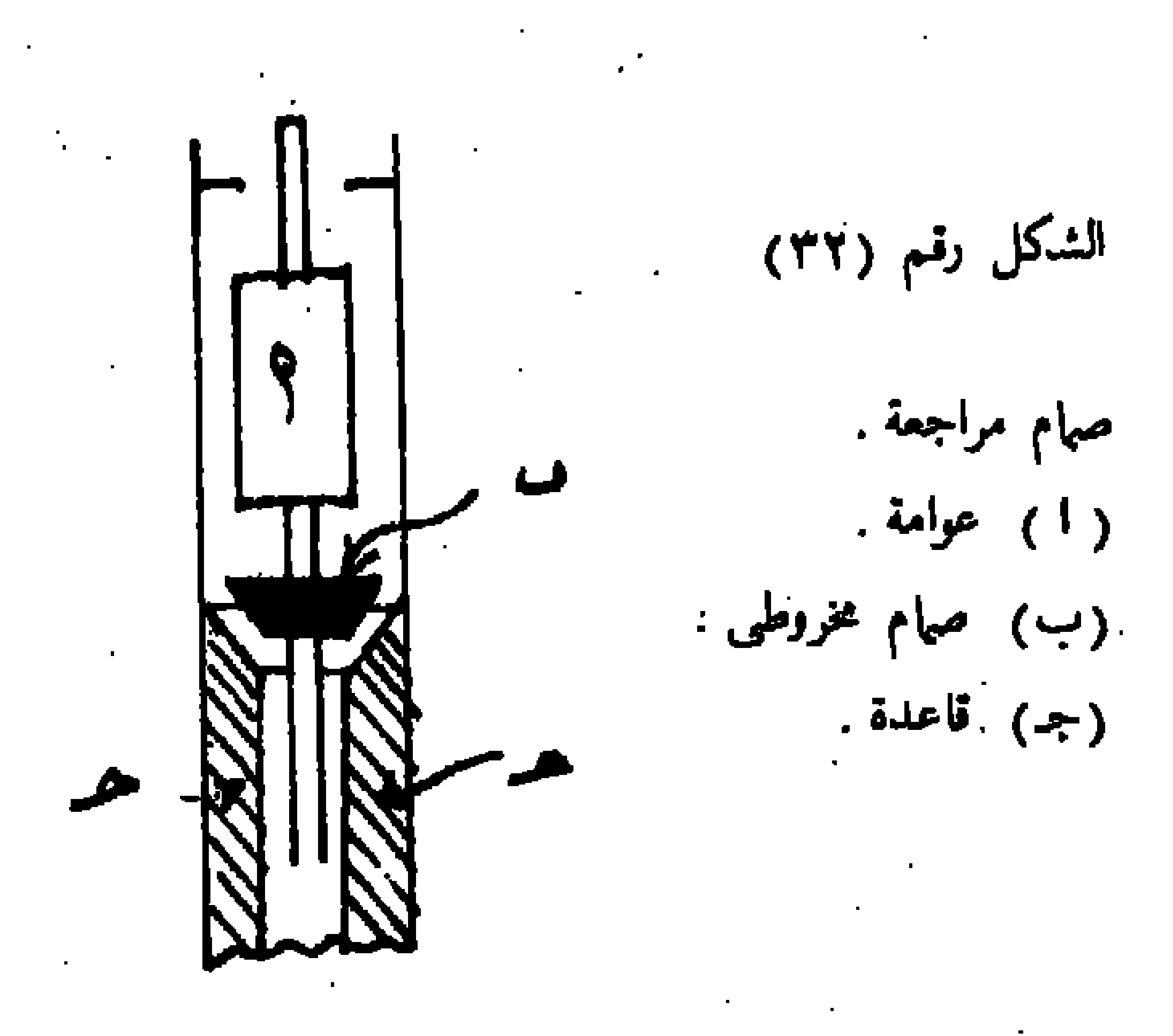
(١) سائل .

(٢) فراغ (بقدر الإمكان) .

(٣) تدريج .

وسيلة تجنب أخطار التحميل الزائد :

قد يحدث ، لسبب أو لآخر ، زيادة الضغط الفرقى المسلط على مقياس الضغط زيادة كبيرة بحيث يتجاوز القيمة المعتادة وحينئذ قد يقذف الزئبق خارج الجهاز إلى الأنابيب وأنحاء من المصنع إذا لم يستخدم صماما مراجعة . وأكثر أنواع هذه الصمامات شيوعاً موضح بالشكل رقم (٣٢) ويتكون من عوامة ثقيلة أ ذات صمام مخروطى ب فى



الشكل رقم (٣٢)

صمام مراجعة .
(ا) عوامة .
(ب) صمام مخروطى .
(جـ) قاعدة .

الجانب السفلى منها وقاعدة جـ ، ويركب صمام مراجعة فى كل ساق من ساق المانومتر ، وفى حالات التشغيل العادية يقوم الدفع الناتج عن الزئبق برفع العوامة ، ويكون هناك خلوص بينها وبين القاعدة جـ ، غير أنه عند حدوث تدفق مفاجئ إلى أسفل فإن تيار التدفق يحمل العوامة معه حتى تجلس على قاعدتها وبذلك فإنها تعمل على إحكام غلق الساق ووقف التدفق . وأيضاً فإن الصمام يعمل ، عندما ينخفض منسوب الزئبق إلى الدرجة التى لم يعد فيها كافياً لحمل العوامة ، فتهبط وتستقر على قاعدتها ، وتمنع التدفق ، وفى مثل هذه الحالة فإنه إذا كان حجم الساقين كافياً لاستيعاب الزئبق كله فإن الجهاز يعود إلى حالة التشغيل المعتادة بعد زوال التحميل الزائد .

٥ / ٥ وسائل التخميد :

عندما يكون الضغط الفرقى المراد قياسه ذا نبضات ، فإنه تستخدم وسيلة لتخميد هذه النبضات ، وهى عبارة عن صمام تقييد يمكن ضبطه أثناء استخدام مقياس الضغط ، ويوضع فى الأنبوبة الموصلة بين الساقين.

٥ / ٦ قياسات الضغط بواسطة موازنة القوة الناتجة على مساحة معلومة ، مع قوة مقيسة :

٥/٦ / ١ طريقة المكبس :

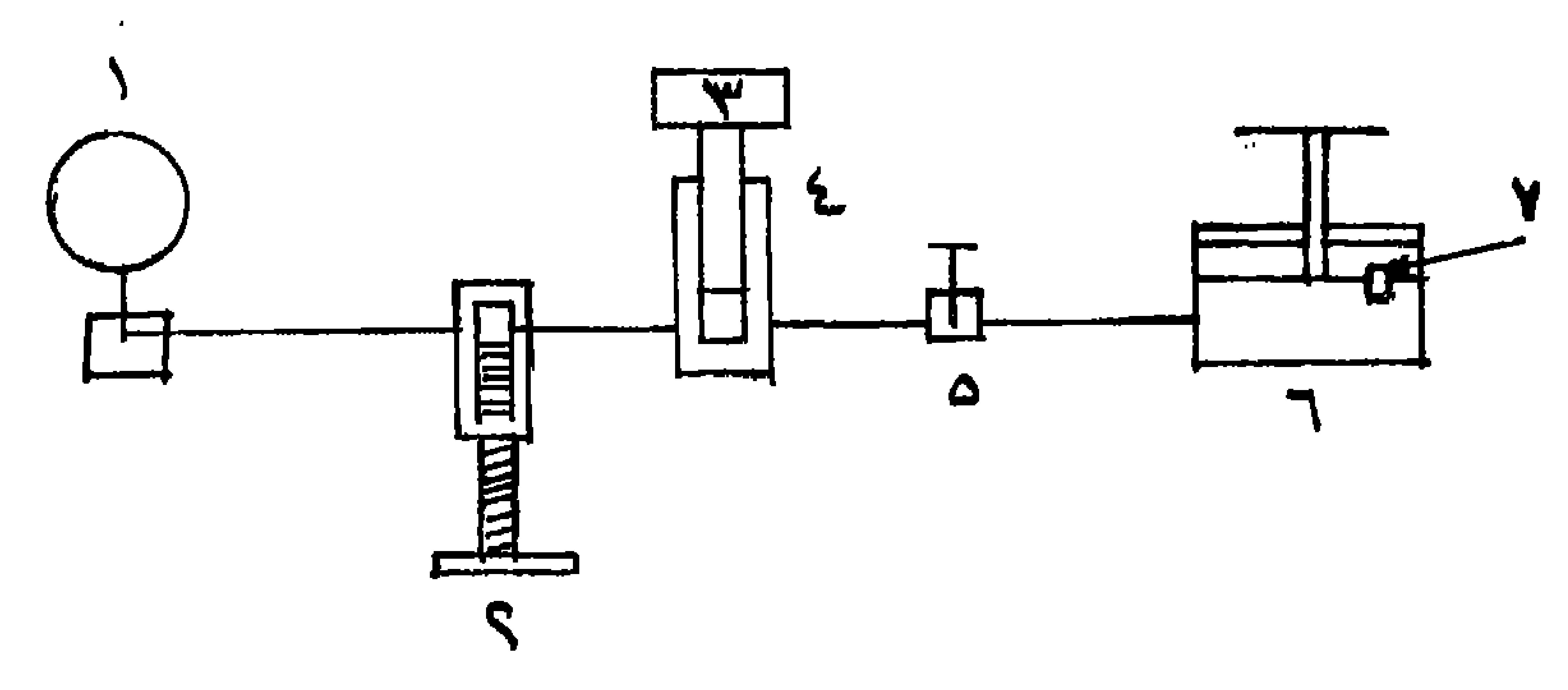
يعتبر المانومتر السائلى جهازاً لقياس ضغوط منخفضة ، وحتى لو استعمل الزئبق فإن هناك حداً للضغوط التى يمكن قياسها ، إذ لا يمكن استعماله لضغوط عالية ، فطول كل من ساقى*المانومتر تحددها اعتبارات عملية ، وأنسب جهاز لقياس الضغوط العالية هو مقياس الضغط ذو المكبس الحر ، ويصلح هذا الجهاز لمعايرة أجهزة الضغط ذات الغشاء ، أو ذات أنبوبة بوردون . وفى هذا النوع من الأجهزة تقاس القوة المؤثرة على مكبس معلوم مساحته مباشرة بالثقل الذى يمكنه حمله .

جهاز اختبار الضغط ذو الحمل المباشر : بنى هذا الجهاز بالإفادة من العلاقة التالية :

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

ويوضح الشكل رقم ٣٣ تخطيطاً يوضح أجزاء هذا الجهاز.

وهو يستعمل كأمام لمعايرة أجهزة الضغط الأخرى التى لا يمكن استخدام المانومتر السائلى لمعايرتها . وتعتمد دقة هذا الجهاز- بدرجة كبيرة-على دقة صناعة المكبس الذى يجب أن تكون التفاوتات فى كل من قطره واستدارته واستواء سطحه صغيرة جداً ، وتصنع المكابس من صلب مصلد ومقسى ومجلخ ومصقول بدقة . ثم يوفق بين المكبس وأسطوانته بحيث يوجد بينهما أدنى خلوص ممكن ، ويفترض أن قطر هذا



الشكل رقم (٣٣)
رسم تخطيطى لجهاز اختبار الضغط ذو الحمل المباشر.

(١) مقياس الضغط .
(٢) مكبس لولبى .
(٣) ثقل و .
(٤) مكبس مساحته أ م٢ .
(٥) صمام (يكون مفتوحاً فقط عند التحضير) .
(٦) مضخة تحضير أولية وخزان .
(٧) صمام تنفيس (تخفيف) .

المكبس الفعال هو متوسط قطرى المكبس وأسطوانته ، وتملأ الأسطوانة بزيت معدنى خفيف ، خال من الأحماض والراتنجات ، وذلك للاستخدام فى ضغوط تصل إلى ٥٥٠ باراً ، وتملأ الأسطوانة بزيت الخروع للضغوط الأعلى من ٥٥٠ باراً . ولكى يتم التخلص من تأثيرات الاحتكاك ، يدار المكبس أثناء أخذ القراءة ، ويضمن هذا الدوران أن المكبس ليس محمولا ، ولو جزئياً بواسطة مقاومة الاحتكاك الناشئ بين الزيت والجهاز. وعندما يكون مدى الضغط للجهاز أقل من ٥٥٠ باراً فإن السنج (الأثقال) توضع مباشرة على قمة المكبس ، ولكن هذه الطريقة لا تصلح للأجهزة المستخدمة لضغوط أعلى من ٥٥٠ باراً ذلك أنه يلزم عدد كبير من السنج ، عند تكويمها فوق بعضها فقد لا تكون جميعها متمركزة حول امتداد محور المكبس ، مما ينتج أخطاء كبيرة بسبب الاحتكاك ، ولهذا فإنه يستعمل تصميم خاص لطريقة تدعيم حامل الأثقال الذى يتكون من منصة حول أسفل أنبوبة طويلة أو الطرف العلوى ،

وهذه الأنبوبة على هيئة قبة تجلس على كرة ، وبذلك يتم تجنب أية إجهادات جانبية .
ويبنى الضغط فى جهاز اختبار مقاييس الضغط بواسطة مضخة تحضير ومكبس لولبى .

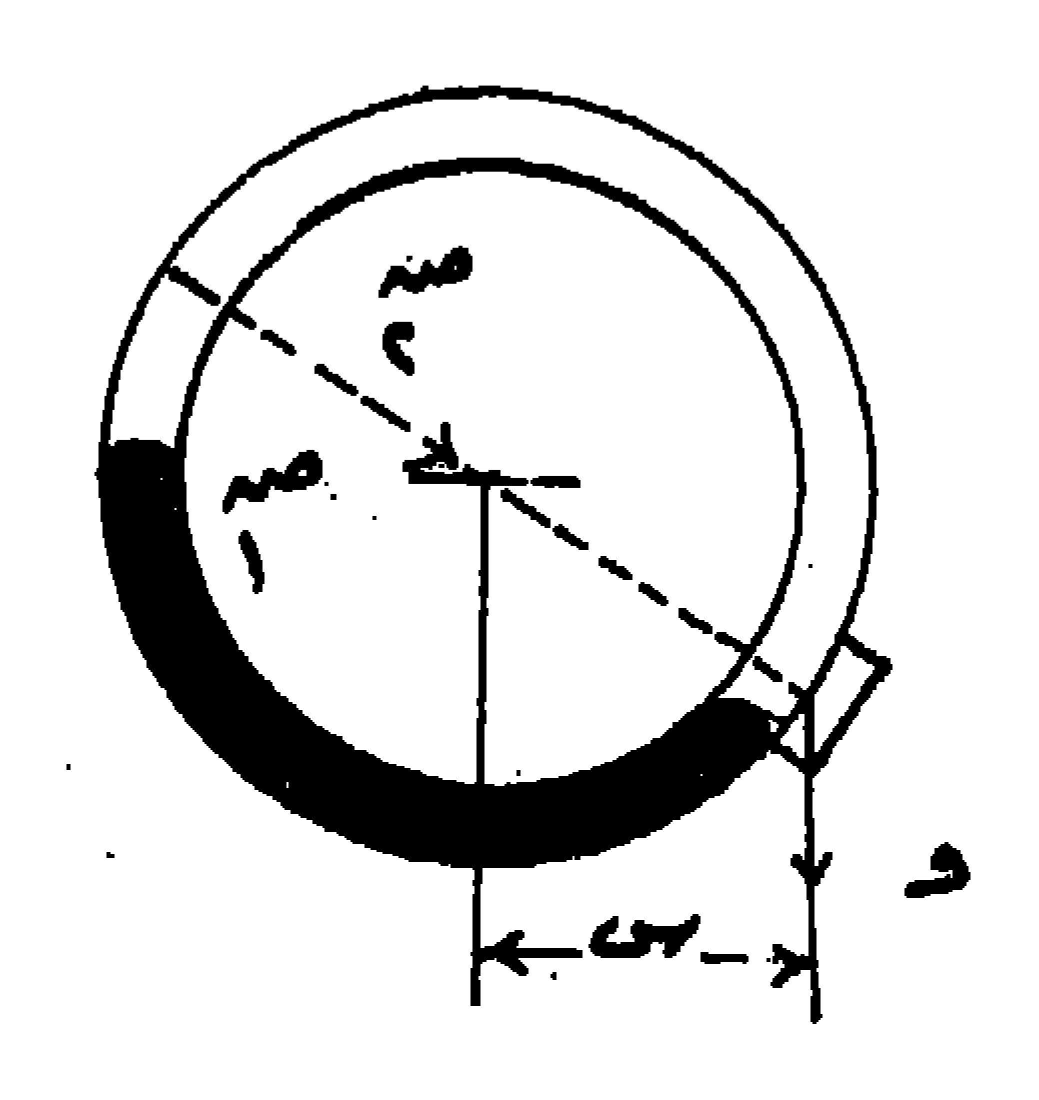
ويراعى عند اختبار أو معايرة مقاييس ضغط الأكسجين بهذا الجهاز ، عدم السماح بدخول الزيت إلى المقياس ، لأن بخار الزيت يكون مخلوطاً متفجراً مع الأوكسجين . ولذلك فإنه بالنسبة لضغوط حتى ٢٠ باراً يمكن اختبار مقاييس ضغط الأوكسجين بالماء أو الهواء وبالنسبة للضغوط من ٢٠ – ٥٥٠ باراً فإنه يلزم استعمال مانع للتسرب كما سيأتى ذكره فيما بعد .

وحيث إن السنج المستخدمة تحدد الحمل المسلط على مساحة معلومة وثابتة هى مساحة المكبس ، فإن هذه السنج يتم إعدادها بقيم مناسبة – لمضاعفات وحدات الضغط مثل نيوتن على المتر المربع (ن / م٢) أو البار) .

وقد تمت صناعة نوع من مقاييس اختبار الضغط ذى الحمل المباشر التى تحتوى على وحدة مكونة من مكبسين أحدهما مساحته ٨٠,٦٤ م٢ والآخر مساحته ٤,٠٣٢ م . وهذا التصميم يقلل عدد السنج المطلوبة لتغطية مدى الجهاز كما يوفر الجهد المبذول لرفعها عن مكبس الجهاز إذ يمكن استعمال أى من المكبسين مع التأثير بنفس السنج . فمثلا لاختبار مقياس ضغط مداه من صفر حتى ١٤٠ باراً (مقياس) يمكن وضع سنج مناظرة لضغط ٧ بارا (مقياس) على المكبس الكبير ويرفع الضغط إلى ٧ بارا (مقياس) ، ويدار المكبس اللولبى فيتوقف المكبس الكبير عن العمل ، وعندما يصل الضغط إلى ١٤٠ باراً (مقياس) ، يشغل المكبس الصغير دون إضافة أية سنج أخرى . ويوجد على الجهاز بيان لونى يدل على المكبس المستخدم . هذا ويكون الجهاز مصحوباً بشهادة من صانعه محددة لدقته وبها عبارة تدل على أن خطأ القراءات بالجهاز لا يتعدى ٠,٠٣ ٪ من قيمة الضغط المقيس .

المانومتر الحلقى : يستخدم المانومتر الحلقى كثيراً فى قياس ضغوط فرقية صغيرة فى حدود ١٠٠ مم ماء (مقياس) ويتكون هذا المانومتر أساساً من حلقة (شكل رقم ٣٤)

جوفاء دائرية المقطع مقسمة فى جزئها العلوى ومملوء جزئيا بسائل ، بحيث تكون غرفتين لقياس الضغط وتستند الحلقة عند منتصفها على حافة سلكين فوق سطح حامل ، أو بواسط محمل كريات أو دلافين . وتصنع الحلقة من المعدن أو البلاستيك تبعاً لنوع الغاز الذى يقاس ضغطه . وأيضاً فإن الغاز هو الذى يحدد طبيعة السائل المستخدم ، ويعمل هذا السائل كمانع للتسرب فقط ، ولهذا فإنه لا يؤثر فى معايرة الجهاز . وتنتج القوة التى



الشكل رقم (٣٤)

مانومتر حلقى .

تشغل الجهاز عن فرق الضغط على جانبى الحاجز ، ولذلك تجعل مساحة المقطع العرضى للحلقة كبيرة عندما يكون الضغط الفرقى المقيس صغيراً والعكس بالعكس . ويتم قياس فرق الضغط بين سائلين يتم إدخالها فى الحلقة عن طريق توصيلات مرنة . وهذه التوصيلات توضع بحيث يكون طولها وحركتها أقل ما يمكن . وتوازن الحلقة بواسطة ثقل تحكم يكون فى أدنى نقطة عندما يتساوى الضغط على جانبى الحاجز .

وإذا كانت مساحة المقطع للحلقة ، وقطرها المتوسط هما ١ متر مربع ، نق متر على التوالى ، وكان ثقل الموازنة على بعد نق$_{١}$ متر من محور الارتكاز ، وكان الضغط المسلط على أحد الجانبين ض$_{١}$ ن / م^{٢} وعلى الجانب الآخر ض٢ ن / م^{٢} حيث ض٢ > ض١

∴ القوة المؤثرة على الحاجز = (ض$_{٢}$ ـ ض$_{١}$) أنيوتن

وتأثير أو عزم الدوران الناتج عن هذه القوة هو (ض$_{٢}$ ـ ض$_{١}$) نق أ ن م حول المركز . ونتيجة لذلك ، تدور الحلقة فى اتجاه ضد عقارب الساعة إلى أن يتوازن هذا

العزم بعزم ثقل الموازنة ، إذا كان هذا الثقل «و» على بعد س متراً عن الخط الرأسى المار بمجرد الإرتكاز .

$$(\text{ض}_{٢} - \text{ض}_{١}) \text{ أ نق} = \text{و س}$$

$$\text{ض}_{٢} - \text{ض}_{١} = \left[\frac{\text{س و}}{\text{أ نق}}\right]$$

أى أن فرق الضغط يتناسب مع المسافة س. وثابت التناسب $= \frac{\text{و}}{\text{أ نق}}$
وبذلك تكون س مقياساً للضغط الفرقى ($\text{ض}_{٢} - \text{ض}_{١}$) ولكن $\frac{\text{س}}{\text{نق}_{١}} =$ حا ب
حيث ب هى الزاوية التى دارتها الحلقة

$$\therefore \text{ض}_{٢} - \text{ض}_{١} = \frac{\text{نق}_{١} \text{ و}}{\text{أ نق}} \text{ حا ب}$$

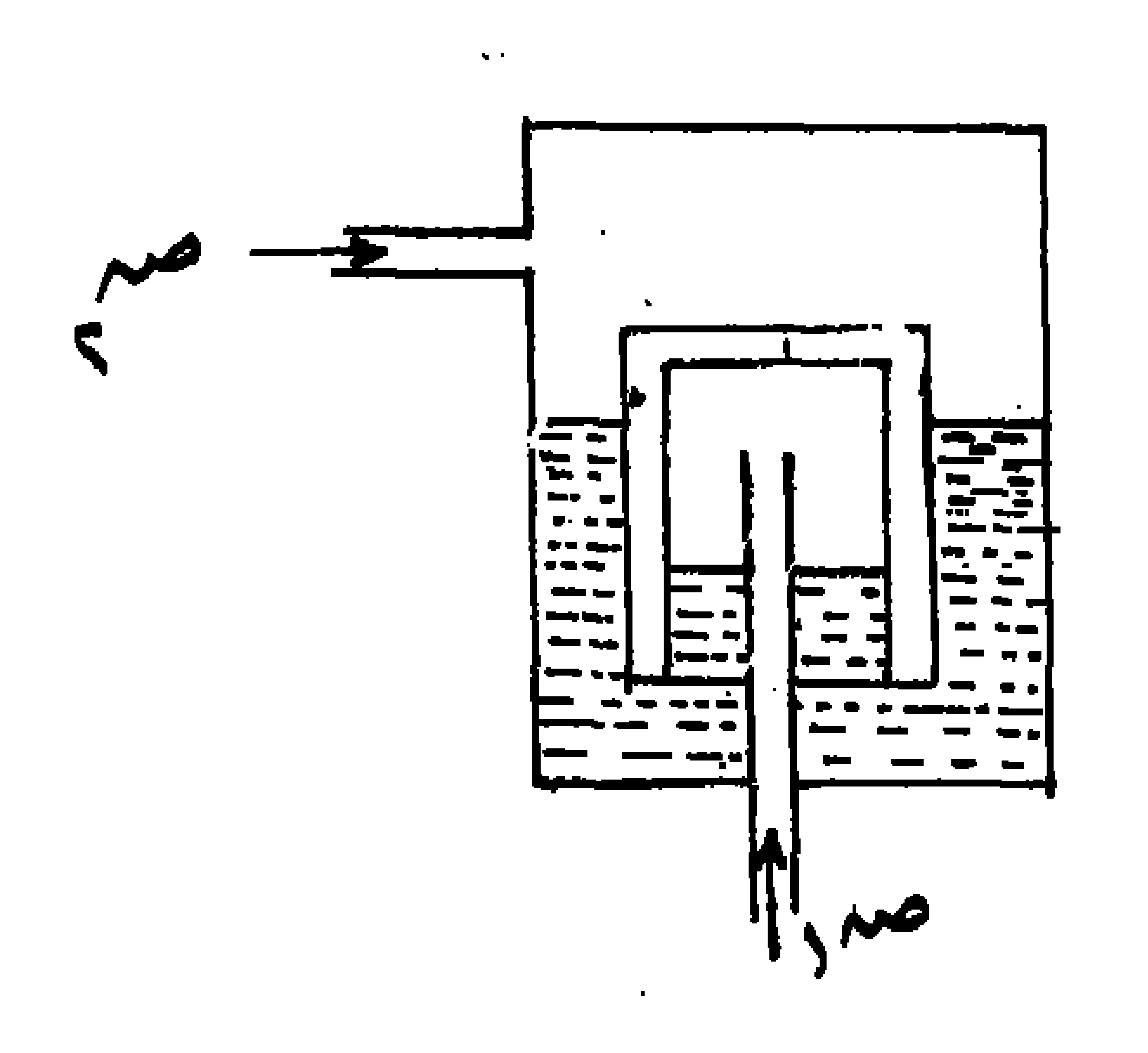
ويمكن استخدام المانومتر ذى الحلقة لقياس ضغوط استاتيكية مختلفة ويعتمد مداه على طبيعة وسمك مادته وعلى قيمة الضغط التى تتحملها الوصلات الخاصة به ، ولقياس ضغوط عالية جداً تصنع الحلقة من الصلب وتزود بتوصيلات مرنة بداخلها أنابيب .

ويمكن كذلك استخدام المانومتر ذى الحلقة فى قياس الضغوط الفرقية ، ويتوقف مدى قياسه فى هذه الحالة على مقاس الحلقة وطبيعته – ومقدار السائل المانع للتسرب .

٥ / ٦ / ٢ مقياس الضغط ذو الناقوس :

يستخدم مقياس الضغط ذو الناقوس ، بكثرة فى الصناعة ، لقياس ضغوط منخفضة ٢٥٠ بسكالا إلى ٢٥٠٠ بسكال (أى ما يعادل مدى ضغط من ١ إلى ١٠ بوصات ماء) ويمكن تقليل الاحتكاك فى هذا المقياس ، عن طريق التصميم المناسب ، بحيث يستجيب للتغيرات الطفيفة فى الضغط التى نقابلها فى الصناعة باستثناء قياسات ضغط التفريغ العالى . ويتكون هذا الجهاز من ناقوس مقلوب (طرفه المفتوح إلى أسفل) فى غرفة محكمة مصنوعة من الحديد الزهر وتحتوى سائلاً مثل الزئبق أو الزيت

ويغطى السائل الطرف المفتوح للناقوس ويعمل كمانع للتسرب مكوناً بذلك غرفتين ، وفى هذا النوع من الأجهزة الذى تقوم به الجاذبية الأرضية بعمل القوة الحاكمة ، يوصل الضغط الأعلى إلى داخل الناقوس ، بينما يؤثر الضغط الأقل على السطح الخارجى للناقوس ، والفرق بين الضغطين يعطى قوة رافعة وكلما خرج جزء من الناقوس من السائل فإنه يفقد جزءاً من قوة الطفو (الدفع الأعلى) ويزداد وزنه ويستمر فى الارتفاع حتى يحدث التوازن بين القوة المؤثرة لأعلى ، والوزن الظاهرى له . وحيث إن الضغط داخل الناقوس يكون أكبر من الضغط خارجه فإن ذلك يجعل مستوى السائل خارج الناقوس أعلى من مستوى السائل بالداخل بالإضافة إلى جعل الناقوس يرتفع ، ويوضح الشكل رقم (٣٥) ناقوساً من هذا النوع .



الشكل رقم (٣٥)
ناقوس .
ض ١ : ضغط منخفض .
ض ٢ : ضغط عال .
ض١ : ضغط منخفض .
ض٢ : ضغط عال .

ويوجد نوع ثان من مقياس الضغط ذى الناقوس ، يكون فيه الناقوس مصنوعاً من مادة رفيعة السمك ويتم الحصول على القوة الحاكمة بواسطة زنبرك ، وتكون تأثيرات الإزاحة فى هذه الحالة ذات تأثير صغير بحيث إنه يمكن إهمالها تماماً إذا كان السائل المانع للتسرب ليس كثيفاً جداً وبما أن الناقوس مصنوع من مادة رفيعة فإن المساحتين اللتين يؤثر عليهما من الداخل ومن الخارج تكونان متساويتين ولتكن كل منهما م١ ، ويدخل الضغط العالى إلى الجهاز بحيث يؤثر على السطح الخارجى للناقوس بينما يؤثر الضغط

المنخفض على السطح الداخلي ، وعندئذ فإن الفرق بين القوتين المؤثرتين نتيجة هذين الضغطين يساوى (ض١ - ض٢) م١ × ١٠^-٦ ن وباستعمال قانون هوك .

$$\frac{\text{التغير فى طول الزنبرك}}{\text{الطول الأصلى للزنبرك}} = \frac{\text{القوة المؤثرة}}{\text{معامل المرونة الزنبرك}}$$

وبما أن التغير فى طول الزنبرك يساوى التغير فى وضع الناقوس أى إزاحته

$$\therefore \text{التغير فى وضع الناقوس} = \frac{\text{الطول الأصلى الزنبرك} \times (\text{ض}_1 - \text{ض}_2)\text{م}_1}{\text{معامل مرونة الزنبرك}}$$

أى أن إزاحة الناقوس = ثابت (ص١ - ض٢)

= ثابت × الضغط الفرقى

وعلى ذلك فإنه يمكن قياس الضغط الفرقى بواسطة قياس إزاحة الناقوس . ويتحدد مدى القياس للجهاز بقيمة معامل المرونة للزنبرك المستخدم ، وكذلك كثافة السائل المانع للتسرب . ويستخدم سائل عضوى كمانع تسرب لقياس ضغوط منخفضة تصل إلى بضعة ملليمترات من الزئبق . ويستخدم الزئبق بدلاً من السائل العضوى فى حالة قياس ضغوط عالية . ويمكن استخدام ناقوسين مقلوبين فى حمام زيت مع تعليقهما فى عاتق ميزان محمول على محامل خاصة بحيث يكون الاحتكاك عندها أقل ما يمكن ويدخل الضغطان المطلوب مقارنتهما كل فى داخل ناقوس ويبين الفرق بين الضغطين (أى الضغط الفرقى) بواسطة مؤشر يتحرك مع عاتق الميزان ، ونظراً لأن قوة الاستعادة صغيرة إذ أنها ناتجة عن تغير موضع مركز عاتق الميزان ، فإن الجهاز يكون حساساً للتغيرات الضئيلة . ويمكن لهذا الجهاز كشف أى تغير فى الضغط يبلغ ٢,٥×١٠^-٢ مم ماء (مقياس) لذا فإنه يستخدم فى التحكم فى ضغوط الأفران .

٥ / ٦ / ٣ مقياس الضغط ذو الغشاء اللين :

توجد فى الصناعة بعض حالات يلزم فيها قياس ضغوط فى حدود (١٠ سم ماء) وفى الوقت ذاته تحتم اعتبارات خاصة بالمكان المتاح ، وبسهولة الخدمة ، عدم استعمال مانومتر سائلى ، ولكن يستخدم مقياس الضغط ذو الغشاء اللين وهو يتكون من مكبس محكم ضد التسرب بواسطة مادة لينة مرنة جداً لا تتطلب إلا قوة ضئيلة جداً لتغيير شكلها ، وتستعمل القوة الدافعة على المكبس بواسطة الضغط المسلط عليه فى تغيير شكل زنبرك المدى وبالتالى تحريك المؤشر المتصل به ميكانيكياً .

٥ / ٧ قياس الضغط بموازنة القوة الناتجة على مساحة معلومة والإجهاد الناتج فى وسط مرن .

٥ / ٧ / ١ أنابيب بوردون :

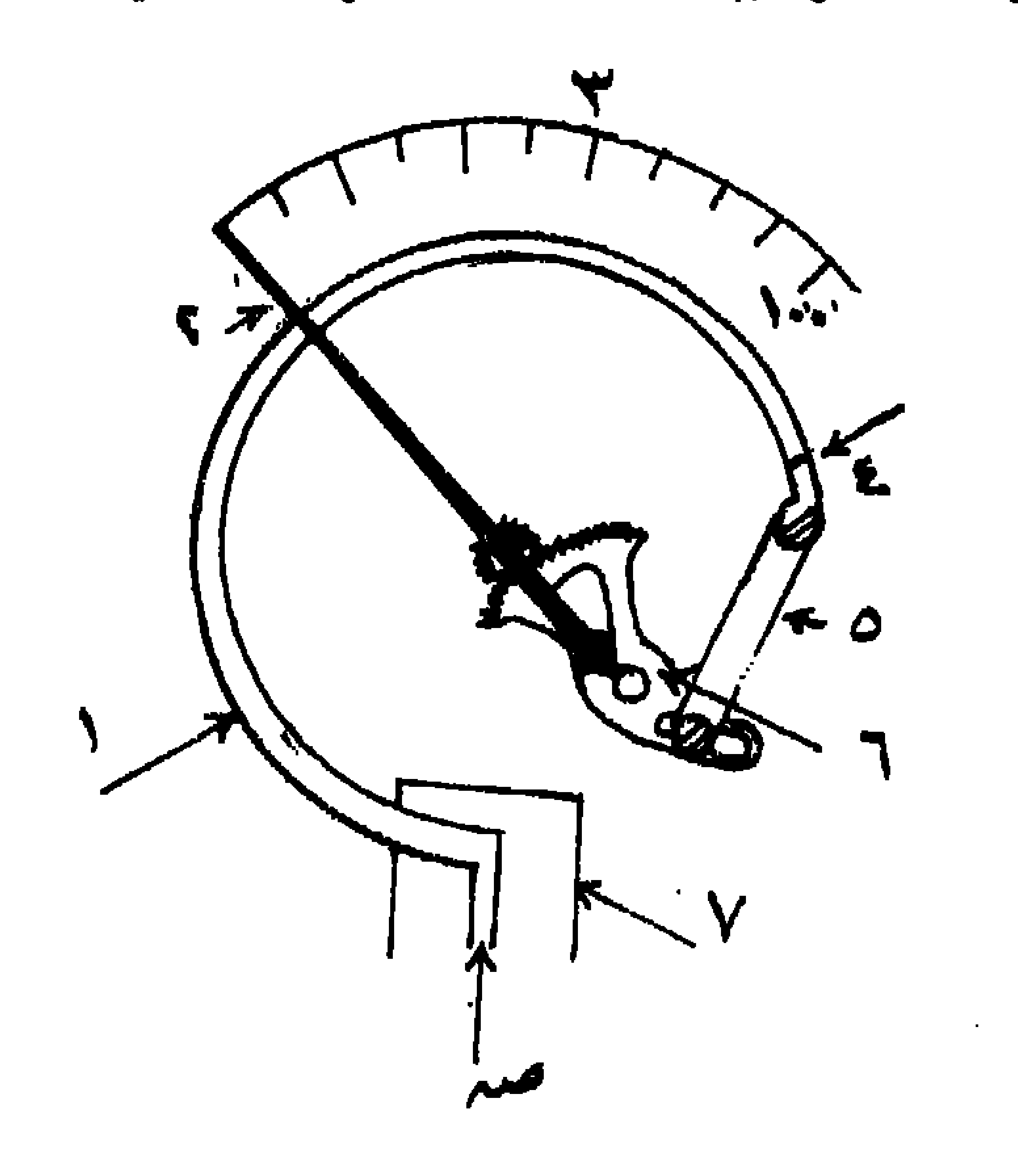
وضع التصميم الأساسى لأنبوبة بوردون فى فرنسا منذ أكثر من مائة وثلاثين عاماً ، ولم يتغير هذا التصميم منذ ذلك الحين إلا تغييراً طفيفاً . وطبقاً لما جاء فى براءة اختراعها عام ١٨٥٢ فإن أنبوبة بوزدون عبارة عن أنبوبة منحنية أو ملتوية ومقطعها العرضى غير دائرى . وعند تسليط ضغط داخلها يزول الالتواء فى شكلها وتصبح مستقيمة وتنقل حركة الطرف الحر لها إلى مؤشر أو عنصر بيان . والأنبوبة يابسة لدرجة أن معظم القوة الناتجة عن الضغط تستنفد فى تغيير شكلها أوفردها ، أما الجزء اليسير المتبقى من هذه القوة الداخلية فإنه يكون متاحاً لتحريك وسيلة البيان وتتحدد المادة التى تصنع منها أنبوبة بوردون بعدة عوامل منها عدد دورات التشغيل المطلوبة وقابلية المادة للتشكيل ونوع المائع الذى يقاس ضغطه ، وتوجد ثلاثة أشكال من أنابيب بوردون هى الدائرية والحلزونية واللولبية .

٥/٧/١/١ أنبوبة بوردون الدائرية :

تتكون أنبوبة بوردون ، فى أبسط صورها ، من أنبوبة ذات مقطع بيضاوى الشكل منحنية على شكل قوس دائرى يعمل زاوية مقدارها حوالى ٢٥٠° عند المركز ، وأحد طرفى الأنبوبة مغلق ويرتبط عن طريق وصلات خفيفة بآلية تشغيل المؤشر . وطرفها الثانى مثبت ومفتوح لتلقى المائع المطلوب قياس ضغطه . ويميل الضغط الداخلى إلى تغيير مقطع الأنبوبة من البيضاوى إلى الدائرى . وهذا يجعل الأنبوبة مستقيمة . وتؤدى حركة الطرف الحر الناتجة إلى تحرك المؤشر على تدريجه . وعند قياس ضغط يقل عن الضغط الجوى فإن الطرف الحر للأنبوبة يميل إلى التحرك باتجاه المسند ، لذلك يجب عكس آلية تحريك المؤشر إذا أريد له أن يبين الفرق بين الضغط المسلط والضغط الجوى فى اتجاه عقارب الساعة على التدريج . وتصنع الأنبوبة من مادة يتم اختيارها تبعاً لطبيعة المائع الذى يقاس ضغطه ويعتمد سمكها على مدى القياس المطلوب . وتحدد الأبعاد الحقيقية للأنبوبة القوة المتاحة لتحريك آلية المؤشر ، ويجب أن تكون هذه القوة بالقدر الكافى الذى يمكن معه إهمال قوة الاحتكاك . وعندما لا تكون هناك أية مشاكل خاصة بالصدأ ، فإنه يمكن صناعة الأنبوبة بطريقة السحب من أنبوبة فوسفور– برونز ذات وصلات ملحومة بسبيكة رخوة أو بالنحاس وذلك لمدى ضغط ١–٧٠ بار (مقياس) ، كما تستخدم أنبوبة بريليوم– نحاس مسحوبة ومعالجة حرارياً وذات وصلات ملحومة بالبخار لضغوط أعلى تصل إلى ٣٥٠ باراً (مقياس) ، أنبوبة من سبيكة الصلب مشكلة بالسحب ذات وصلات ملولبة وملحومة بالنسبة لضغوط أعلى من ٣٥٠ باراً وإذا أريد أن تكون الأنبوبة مقاومة للتآكل بالسائل الذى يقاس ضغطه فإنه تستخدم أنبوبة صلب كربونى مشكلة بالسحب وذات وصلات ملحومة بسبيكة رخوة للمدى ١ – ٣٥ باراً (مقياس) ، أنبوبة فولاذ لا يصدأ مشكلة بالسحب وذات وصلات ملحومة للمدى ٢ – ٧٠ باراً ، وأنبوبة مونل k مشكلة بالسحب ، وذات وصلات ملولبة ، وملحومة للمدى ٧٠ – ١٤٠٠ باراً .

ويمكن ، بالإضافة إلى قياس ضغوط أكبر من الضغط الجوى ، استخدام أنبوبة بوردون من هذا النوع لقياس ضغوط أقل من الضغط الجوى . ويمكن استخدامها لقياس ضغط البخار فى غلايات ثابتة أوغلايات ماكينات الديزل وهى تستخدم على نطاق واسع ، لقياس ضغط كل من الماء والهواء وثانى أكسيد الكربون ، وأنواع أخرى شتى من السوائل والغازات . ويوضح الشكل رقم (٣٦) أنبوبة بوردون من النوع c وأجزاءها المختلفة . ويمكن قياس الضغوط بواسطة أنبوبة بوردون من هذا النوع والخاصة للأغراض الصناعية بدقة ± ٥ ٪ من المدى .

وإذا اختلفت درجة حرارة السائل الذى يقاس ضغطه عن درجة الحرارة التى تمت معايرة المقياس عندها ، فإن القراءات تكون بها أخطاء عند الصفر ، وعند أية نقطة



الشكل رقم (٣٦)
(١) أنبوبة « بوردون » .
(٢) مؤشر .
(٣) تدريخ .
(٤) طرف مغلق .
(٥) وصلة .
(٦) ترس قطاعى وترس صغير .
(٧) جلبة .

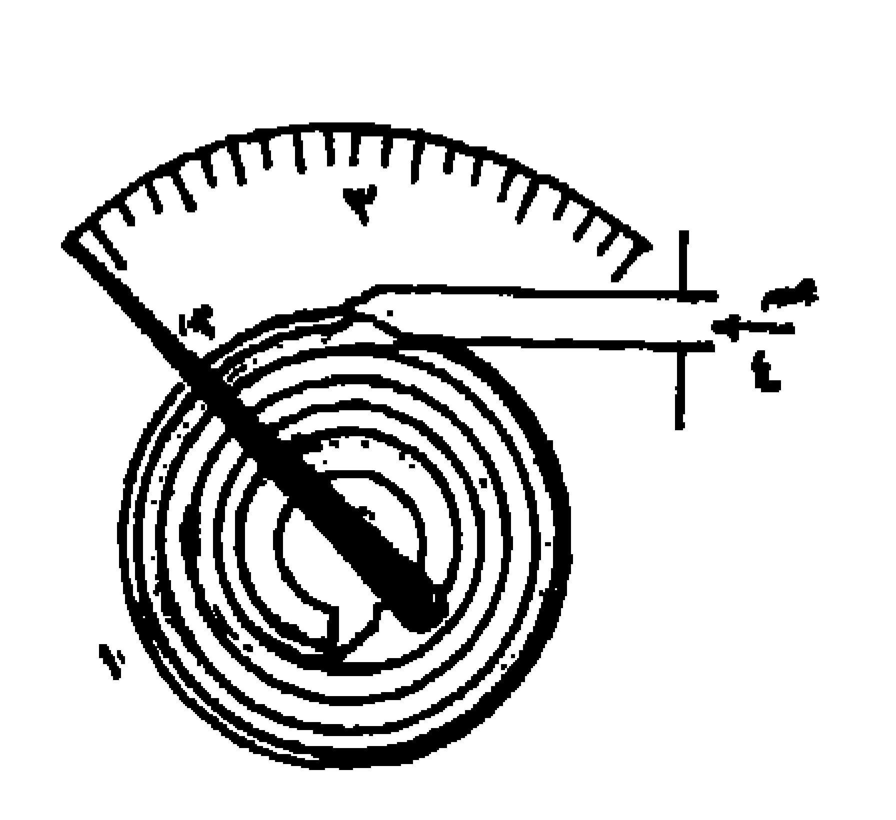
أخرى على التدريج . ويعتمد خطأ الصفر على معامل تمدد مواد أنبوبة بوردون ، والوصلة . فمثلاً خطأ الصفر بالنسبة لمقياس ضغط ذى وصلة مصنوعة من الفوسفور – برونز يساوى ٠,١ فى المائة من انحراف التدريج الكامل للارتفاع فى درجة الحرارة قدره

٢٠° م ، وبالنسبة لمقياس ضغطه مماثل ذى أنبوبة مصنوعة من الصلب فإن هذا الخطأ يساوى ٠,٥ فى المائة من التدريج الكامل عند درجة الحرارة ذاتها .

ويؤدى الارتفاع فى درجة الحرارة إلى نقص معامل « يونج » للمرونة الخاص بمادة الأنبوبة وهذا يؤدى إلى زيادة انحراف طرف أنبوبة بوردون بالنسبة لضغط مسلط معين . والخطأ الناتج عن هذا التأثير – بالنسبة لارتفاع فى درجة الحرارة مقداره ٢٠°م فى مدى درجات الحرارة المعتادة يكون حوالى ٠,٧ ٪ من الضغط المسلط فى أنابيب مصنوعة من الفوسفور برونز ، وحوالى ٠,٥ ٪ للأنابيب المصنوعة من سبائك الصلب .

أنبوبة بوردون الحلزونية :

تستخدم أنبوبة بوردون الحلزونية (شكل رقم ٣٧) عندما تكون حركة الطرف الحر



الشكل رقم (٣٧)

(١) أنبوبة بوردون الحلزونية .
١ – حلزون .
٢ – مؤشر .
٣ – تدريج .
٤ – ٤ – مدخل الضغط المراد قياسه .

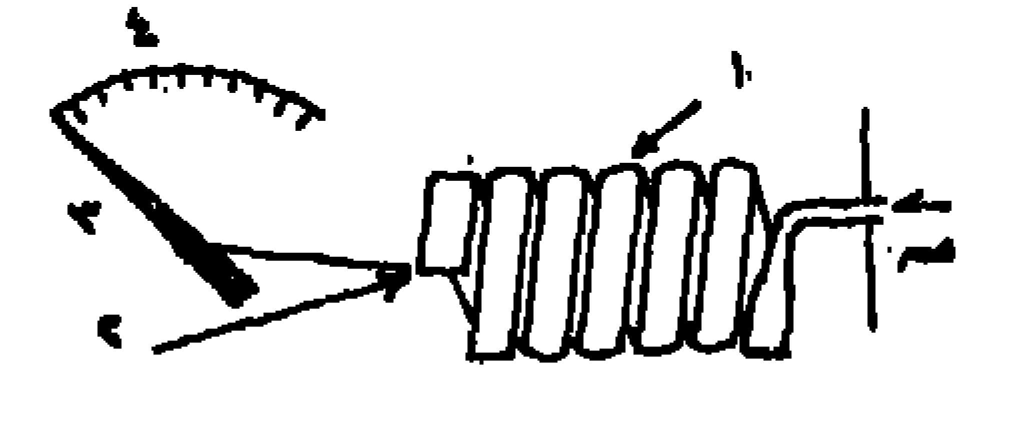
فى أنبوبة بوردون على شكل C غير كافية لإعطاء الحركة المطلوبة ، وحيث إن الطرف الحر تكون حركته أكبر فى حالة الأنبوبة الحلزونية فإنه لا يكون من الضرورى فى معظم الأحوال استخدام تكبير ميكانيكى ، وبذلك فإنه يمكن الحصول على دقة أفضل . وتصنع الأنبوبة الحلزونية بلف أنبوبة ذات مقطع مفلطح لتتخذ شكل حلزون مكون من عدة لفات ، وعندما يؤثر الضغط فى داخل الأنبوبة فإنه يميل لفك اللفات معطياً بذلك حركة أطول نسبياً للطرف وهذه الحركة يمكن استخدامها للدلالة على الضغط أو لنقله . وتصنع أنابيب هذا النوع من صلب الكروم موليبدنوم وتلحم جميع الوصلات وتعالج

بالحرارة لإزالة أية إجهادات فى الأنبوبة ، وهذا يضمن تجانس خصائص المرونة فى جميع أجزاء الأنبوبة . وفى العادة تكون دقة الأنبوبة الحلزونية حوالى ± ٠,٥ ٪ ويستخدم مقياس الضغط ذو الأنبوبة الحلزونية لقياس الضغوط المنخفضة .

أنبوبة بوردون اللولبية :

هذه الأنبوبة (شكل ٣٨ تشبه أنبوبة بوردون الحلزونية ، غير أنها تلف على شكل لولب ، وهذا يزيد فى حركة الطرف الحر معطياً تكبيراً أكبر مما تعطى الأنبوبة الحلزونية .

وهى تستخدم فى قياسات الضغوط العالية . ويعتمد عدد لفات الأنبوبة على مدى الضغط ، وتقل عدد اللفات إلى حوالى ثلاث إذا كان امتداد الضغوط المقيسة صغيراً



أنبوبة بوردون اللولبية .
(١) لولب .
(٢) طرف يتحرك .
(٣) مؤشر .
(٤) تدريخ .
ض = الضغط المقيس .

الشكل رقم (٣٨)

وقد تبلغ ١٦ لفة أو أكثر لامتداد واسع . وتتراوح دقة الأنابيب اللولبية ما بين ± $\frac{1}{2}$ إلى ± ١ ٪ من امتداد التدريج .

٥ / ٧ / ٢ الأغشية :

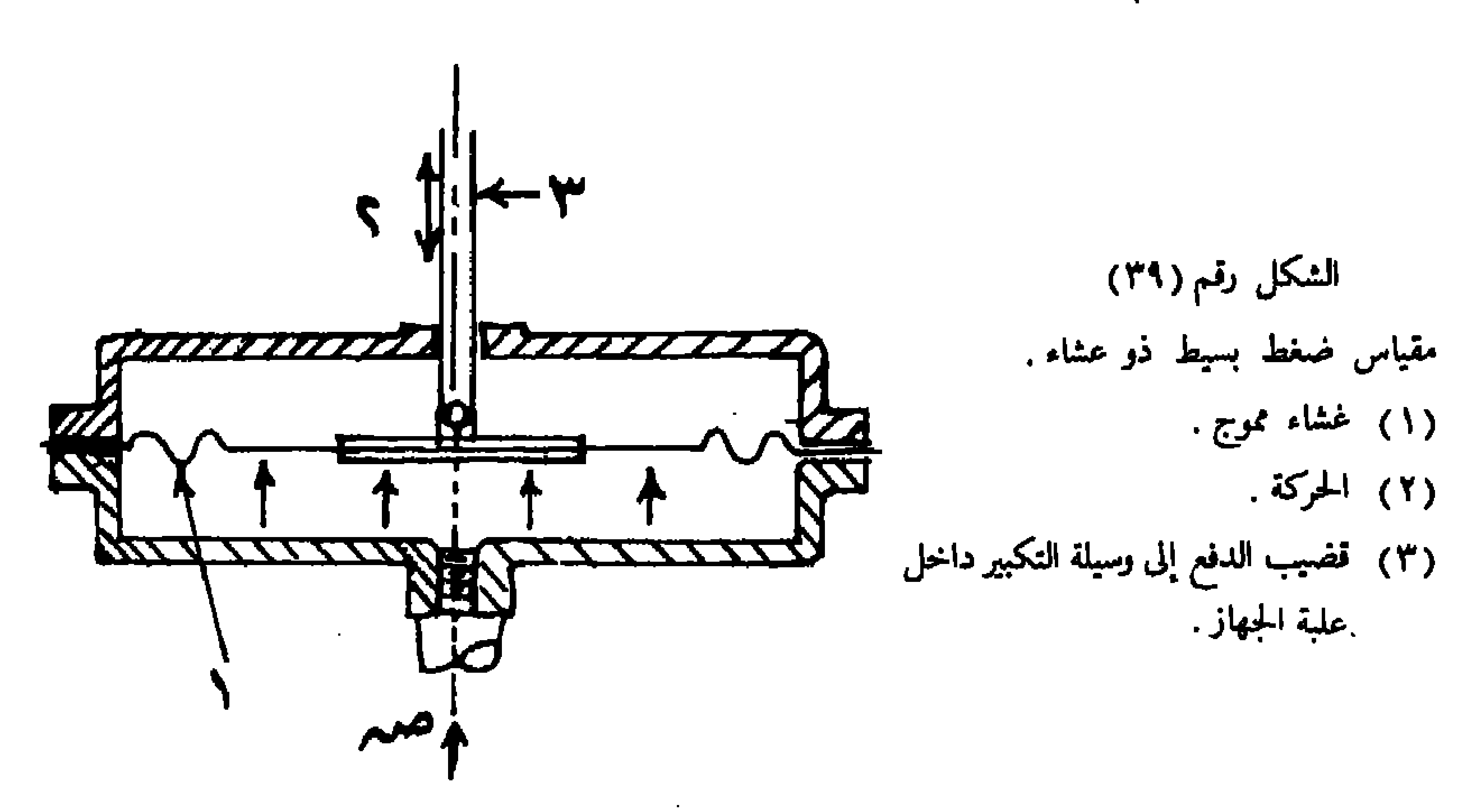
يوجد نوعان من الأغشية أولها الأغشية المعدنية الصلبة أو المنفاخ وثانيها الأغشية الرخوة .

٥ ٪ ٦ / ٢ / ١ الأغشية المعدنية الصلبة :

أبسط أنواع مقاييس الضغط ذى الغشاء (الرق) ، مقياس «سيفر» ، وهو يتكون

من غشاء مموج قطره حوالى ٦٥ مم ومصنوع من الفولاذ الذى لا يصدأ الذى تم تصليده ، ومعالجته حراريا . وهذا الغشاء مثبت بين شفتين ، ويسلط الضغط على جانبه الأسفل فى غرفة خاصة ، وتنقل حركة مركز الغشاء خلال وصلة مكونة من كرة وجلبة ، ووصلة تكبير إلى المؤشر كما فى مقياس بوردون ، والشفة العليا مسطحة لتمنع أية حركة إضافية للغشاء عندما يصل المؤشر إلى نهاية التدريج حتى لا يتحطم الغشاء بضغوط أعلى بدرجة ملموسة من أقصى ضغط مسموح بقياسه .

وعندما يراد استخدام المقياس لموائع مسببة للصدأ ، تصنع الغرفة من مادة مقاومة للصدأ (شكل رقم ٣٩) مثل الصلب الذى لا يصدأ أو «الصلب الطرى المغطى بمادة



الشكل رقم (٣٩)
مقياس ضغط بسيط ذو غشاء .
(١) غشاء مموج .
(٢) الحركة .
(٣) قضيب الدفع إلى وسيلة التكبير داخل علبة الجهاز .

مقاومة للصدأ مثل الرصاص . وبالإضافة إلى ذلك يتم حماية الغشاء بطلائه بطبقة من مادة مناسبة أو بتغطيته بقرص رقيق من الفضة . ويمكن استخدام هذا النوع من المقاييس ، لقياس ضغوط تقل عن الضغط الجوى أو تزيد عليه ، غير أن وقاية أغشية المقاييس بالنسبة للضغوط التى تقل عن الضغط الجوى أكثر صعوبة ، وذلك نظراً لميل الغشاء والطبقة الواقية إلى الانفصال عن بعضها تحت تأثير الضغط المنخفض . ويعطى هذا النوع من مقاييس الضغط بياناً أفضل وأكثر إيجابية عما تعطيه مقاييس بوردون لمدى

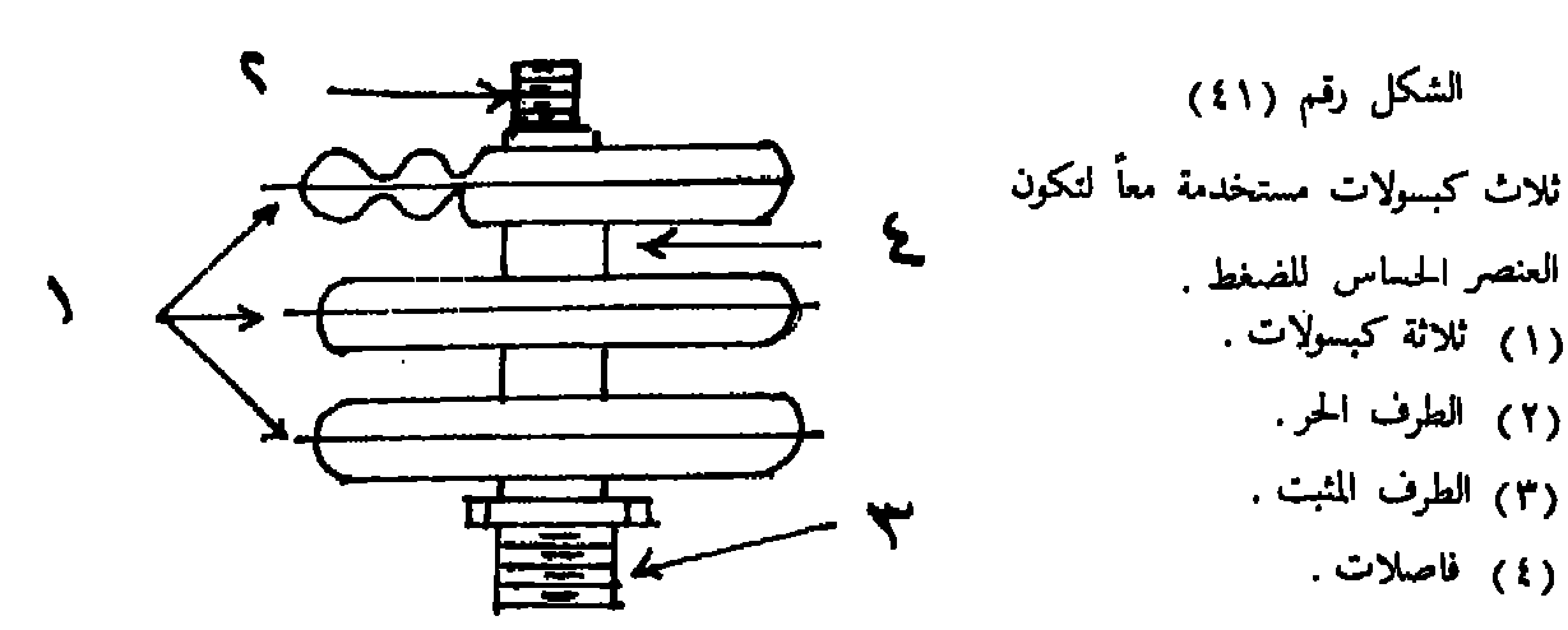
الضغوط المنخفضة وبصفة خاصة بالنسبة للمقاييس المدرجة تحت بار واحد كما أنها مناسبة أيضاً لقياس الضغوط المتغيرة .

وبدلاً من الغشاء (العنصر الحساس للضغط) السابق الإشارة إليه فى مقياس «سيفر» فإنه يتم فى بعض الحالات لصق غشاءين معا عند محيطها باللحام بمادة لاحمة أوبالضغط ليكونا كبسولة (الشكل ٤٠)



الشكل رقم (٤٠)
نوعان من الكبسولات .

وتستخدم كبسولة أوأكثر لتكوين عنصر حساس للضغط (شكل ٤١) .

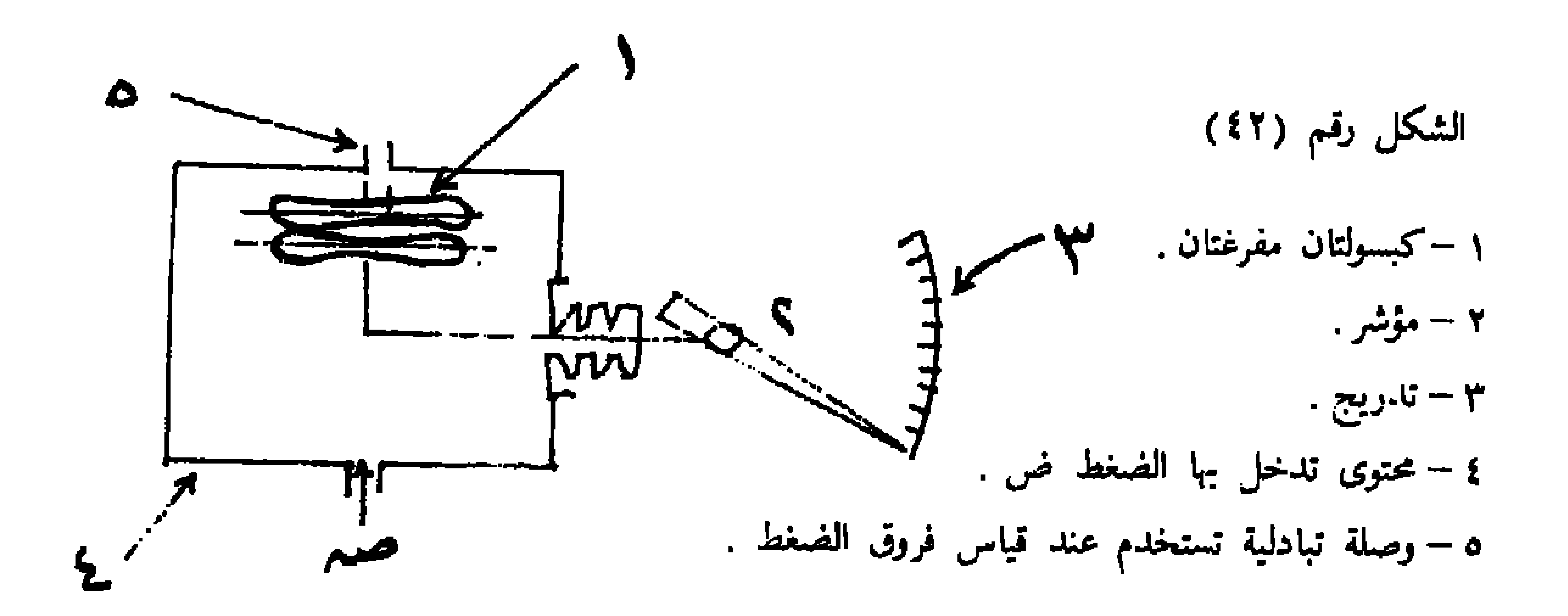


الشكل رقم (٤١)
ثلاث كبسولات مستخدمة معاً لتكون العنصر الحساس للضغط .
(١) ثلاثة كبسولات .
(٢) الطرف الحر .
(٣) الطرف المثبت .
(٤) فاصلات .

وعندما يقاس الضغط المطلق فإنه يتم استخدام كبسولات مفرغة ويوضح شكل (٤٢) كبسولتين مفرغتين ومستخدمتين فى قياس الضغط المطلق ، وهما مزودتان بتوصيلة تبادلية يمكن استخدامها عندما يراد قياس الضغوط الفرقية .

المنفاخ :

يستخدم المنفاخ كعنصر حساس للضغط فى كثير من المقاييس بدلاً من الكبسولات . وقد كانت المنافيخ تنتج لسنوات طويلة ، بسلسلة من عمليات التشكيل



الشكل رقم (٤٢)

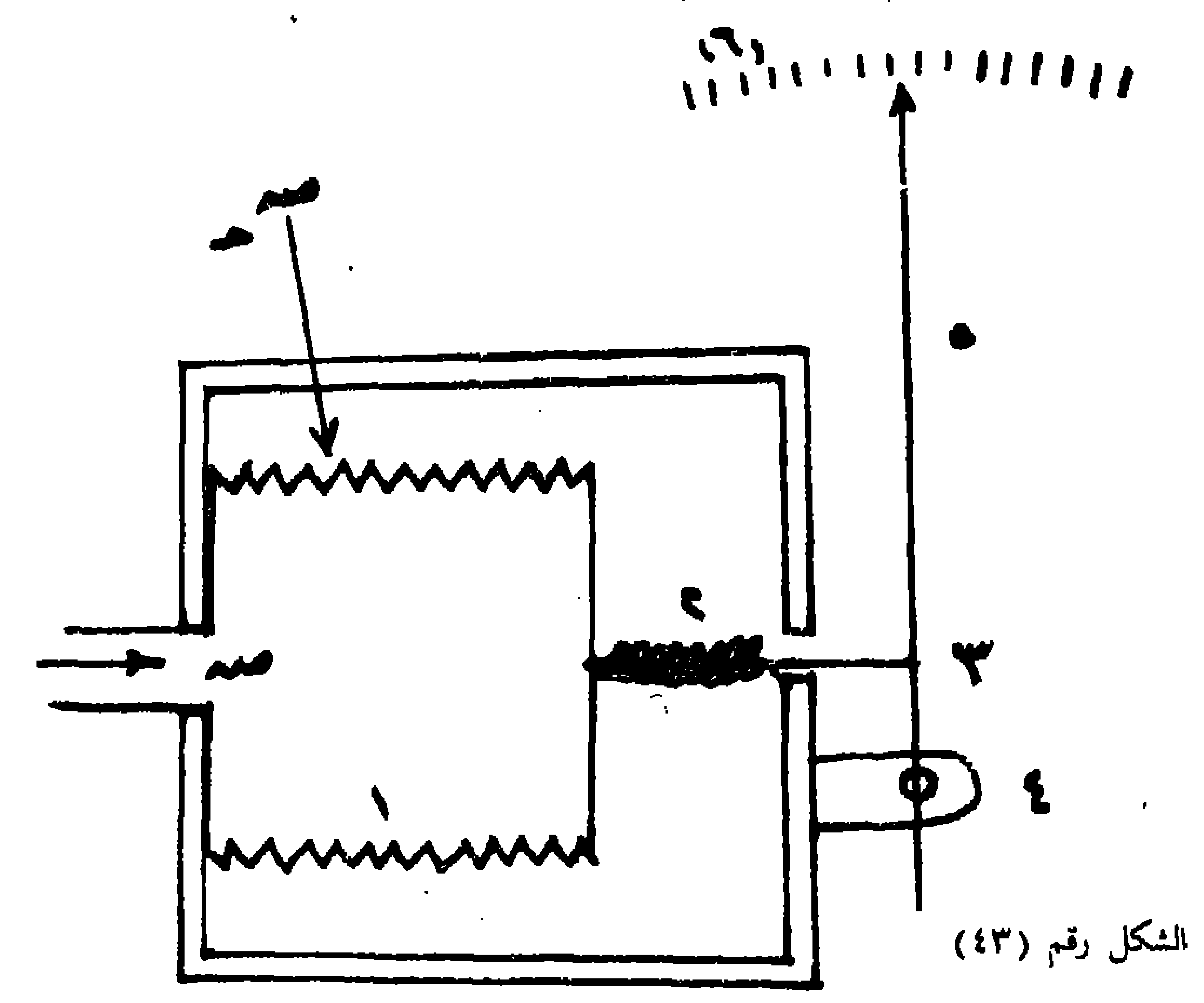
١ – كبسولتان مفرغتان .
٢ – مؤشر .
٣ – تادريج .
٤ – محتوى تدخل بها الضغط ض .
٥ – وصلة تبادلية تستخدم عند قياس فروق الضغط .

بالرحو أوالدلفنة تتخللها عمليات التخمير (التلدين) فالمعالجة فى حمام حمضى بتنظيف سطح المعدن ثم الغسيل ، غير أن التقدم فى إنتاج السبائك ، ذات التركيب المستمر والمنتظم والخالية من الشوائب ، قد جعل بالإمكان تصنيع المنافيخ بعملية هيدروليكية تتضمن خطوة واحدة ، ويصنع المنفاخ حاليا نتيجة للتقدم المشار إليه بواسطة تشكيل المنفاخ حالياً من أنبوبة محكمة الغلق فى أحد طرفيها ، وواقعة تحت ضغط داخلى لسائل أوغاز داخل قالب قابل للطى . ويتكون القالب من مجموعة من الألواح مساوية فى عددها لعدد ليات المنفاخ ، وتبعد إحداها عن الأخرى بمسافة معينة ثابتة ، وتحيط بالأنبوبة . ويؤدى الضغط الداخلى إلى أن تتسيل الأنبوبة بين الألواح بينما ينطوى القالب باتجاه الطرف . لذلك يتشكل المنفاخ فى عملية واحدة مستمرة .

وتجدر الإشارة إلى أنه حيث إن الضغط الداخلى يكون فى حدود بضع مئات الآلاف بار فإن المنفاخ يتحطم أثناء تشكيله إذا كان بالأنبوبة أية عيوب . وتنتج المنافيخ أشكال متنوعة من النحاس الأصفر والألمبرو (سبيكة تشبه النحاس الأصفر مع إضافة ٢ ٪ ألومنيوم) وهما مادتان مقاومتان للصدأ تجعلان المنافيخ صالحة للاستخدام فى الماء المالح أو ماء البحر .

وتعرف لدانة المنفاخ بأنها التغير فى الطول عندما يسلط عليها ضغط قدره ان/ م^{٢} وهذه اللدانة تتناسب طرديا مع عدد ليات المنفاخ ، وعكسيا مع سمك جدارها ومعامل

مرونتها . كما يعرف معامل الانضغاط للمنفاخ بأنه الحمل (بالنيوتن) الذى إذا سلط على المنفاخ عند طرفه الحر فإنه يضغطه بمقدار ١ مم ، ويتناسب معامل الانضغاط طرديا مع معامل مرونة مادة المنفاخ ومع مكعب سمك جداره ، وعكسياً مع عدد الليات ، ومربع القطر الخارجى للمنفاخ . ولزيادة معامل الانضغاط فى بعض الاستعمالات فيمكن استخدام زنبرك داخل المنفاخ بحيث يضاد القوة التى تعمل على ضغط المنفاخ .



الشكل رقم (٤٣)

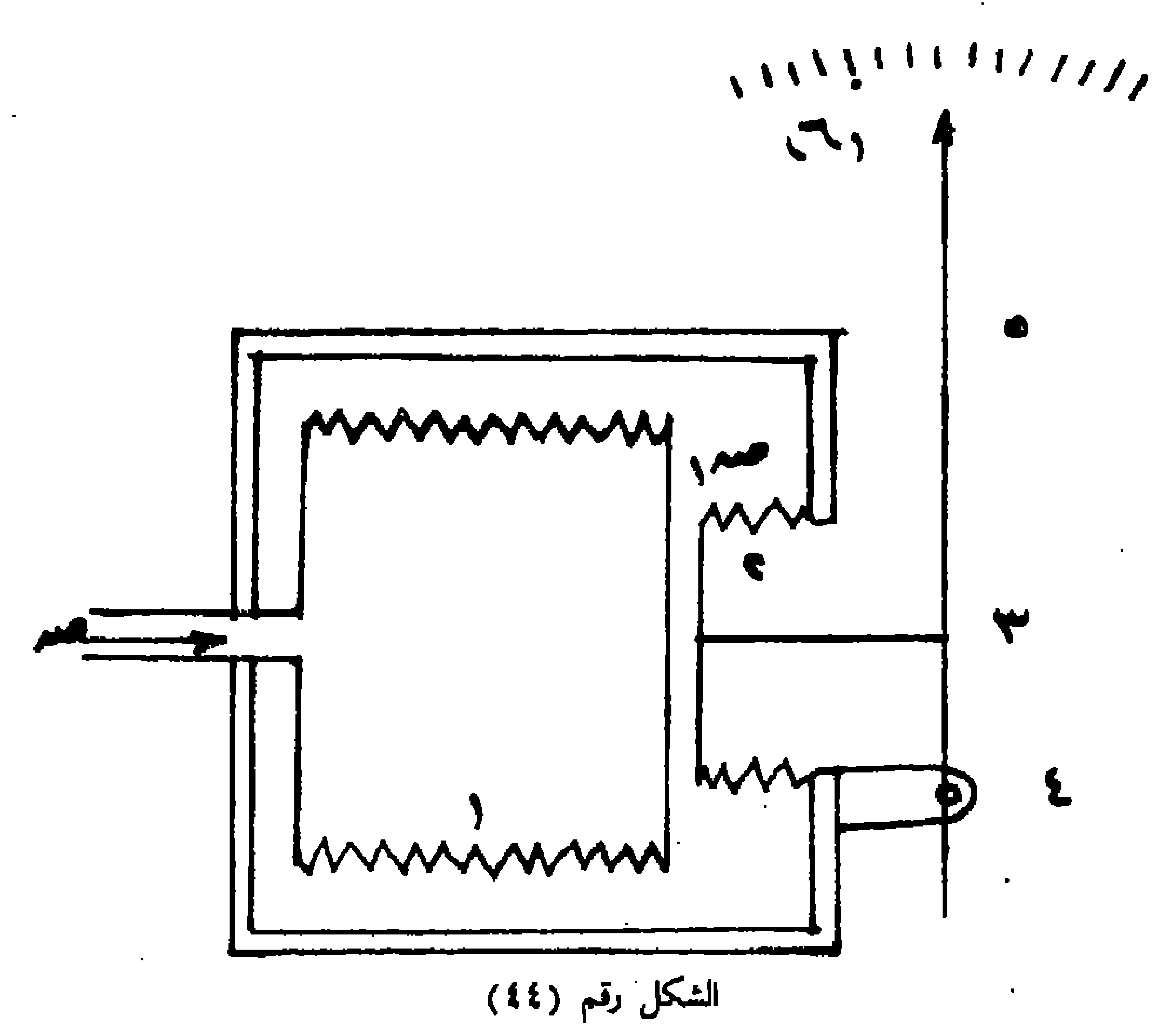
مقطع بسيط لمقياس ضغط ذى منفاخ يستخدم لقياس الضغط المنخفض .

(١) منفاخ . (٤) محور إرتكاز .
(٢) زنبرك . (٥) مؤشر .
(٣) وصلة . (٦) تدريخ .

تطبيقات المنفاخ فى مقاييس الضغط :

عند استخدام منفاخ ذى مساحة كبيرة . وعدد كبير من الليات . فإن الضغوط المنخفضة جداً تخلق قوى ملموسة ويمكن موازنتها بالفعل الزنبركى للمنفاخ فقط ،

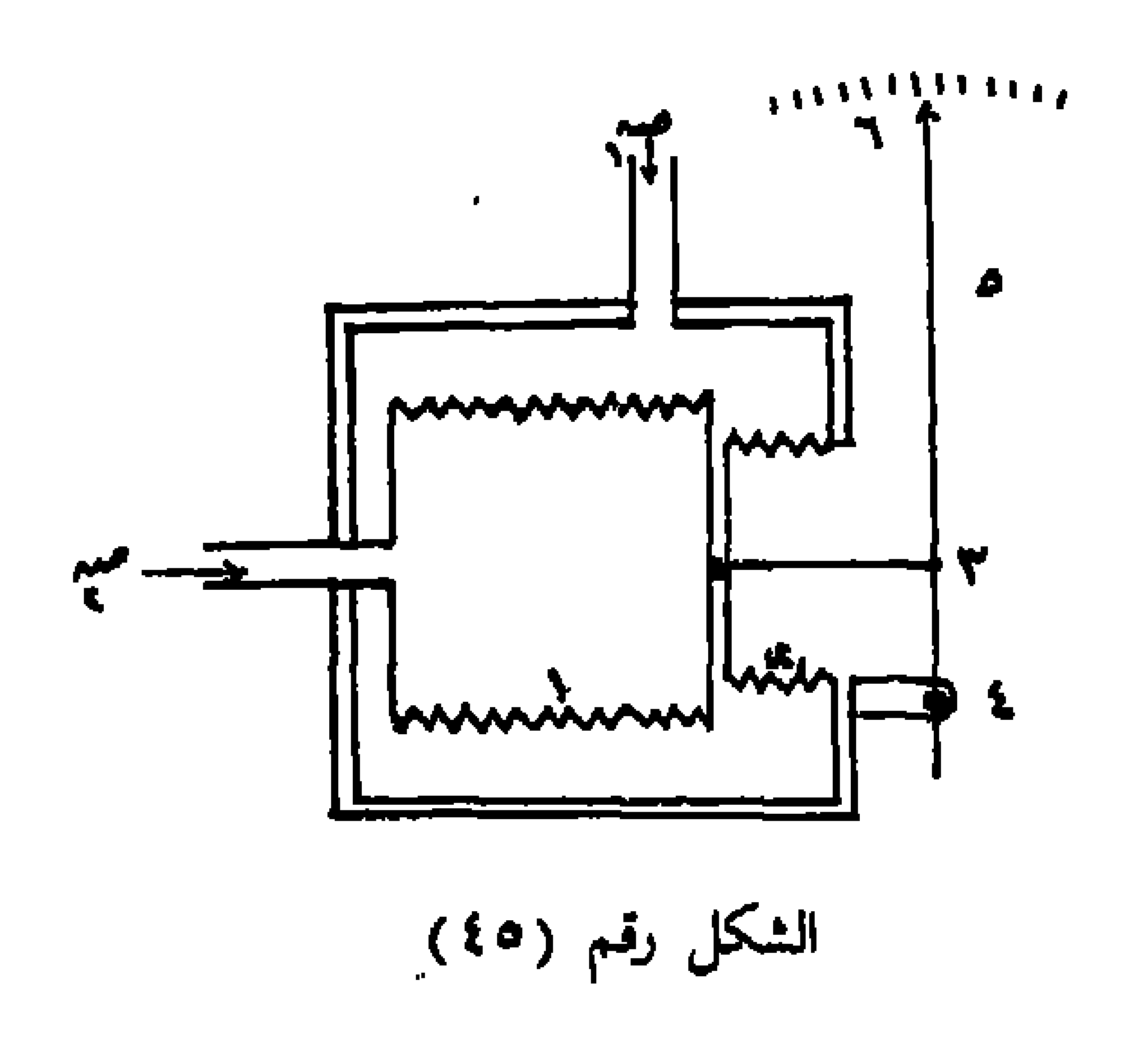
أو باستخدام زنبرك لمعاونة مقاومة المنفاخ . ويمكن بالاختبار المناسب لمادة وعدد ليات المنفاخ ، مع استعمال زنبرك معاير قياس ضغوط صغيرة جداً تتراوح ما بين ٠,٢ إلى ٣٥٠ كيلوباسكال (جزء من أوقية على البوصة المربعة– ٥٠ باوند٪ بوصة مربعة) ويجب ملاحظة أن الضغط الجوى يؤثر على السطح الخارجي للمنفاخ مما يجعله يستجيب فقط للضغوط التى تزيد على الضغط الجوى ويوضح شكل رقم (٤٣) أبسط أنواع المنافيخ وهو فى الحقيقة جهاز لقياس الضغط الفرق .



الشكل رقم (٤٤)

قطاع خلال رسم تخطيطى لمقياس الضغط المطلق

(١) منفاخ عامل .
(٢) منفاخ مانع للتسرب .
(٣) وصلة .
(٤) محور إرتكاز .
(٥) مؤشر .
(٦) تدريخ .



الشكل رقم (٤٥)

مقياس ضغط فرق باستخدام منفاخ .
(١) منفاخ عامل .
(٢) منفاخ مانع للتسرب .
(٣) وصلة .
(٤) محور الإرتكاز .
(٥) مؤشر .
(٦) تدريخ .

مقياس الضغط المطلق ذو المنفاخ :

(شكل ٤٤) إذا كان المطلوب قياس ضغوط صغيرة فإن الضغط الجوى يمثل مشكلة . وللتغلب على هذه المشكلة يمكن وضع المنفاخ داخل محتوى محكم (ضد تسرب الهواء) ومفرغ من الهواء تقريباً ، وفى هذه الحالة فإن المنفاخ سيكون واقعاً تحت تأثير ضغط من الداخل فقط ويستجيب له ويعطى المقياس قيمة الضغط المطلق .

مقياس الضغط الفرقى ذو المنفاخ :

ينحصر اهتمامنا فى حالات كثيرة بقياس الضغط الفرقى فقط ويحدث ذلك بصفة مستمرة عندما يراد قياس الضغط لمائع للحصول على معدل تدفقه . ويمكن استعمال المنفاخ كجهاز لقياس فروق الضغط (الشكل ٤٥) وذلك بتعريضه من الداخل للضغط الأعلى ومن الخارج إلى الضغط الأقل ، وهو فى هذه الحالة سوف يقرأ الفرق بين الضغطين المسلطين . ويجب مراعاة أنه لو تم التأثير بالضغط الأكبر على المنفاخ من الخارج . بينما يؤثر بالضغط على الأقل من الداخل فإن المنفاخ لن يعطى قراءات موجبة .

الغشاء (الرق) الرخو :

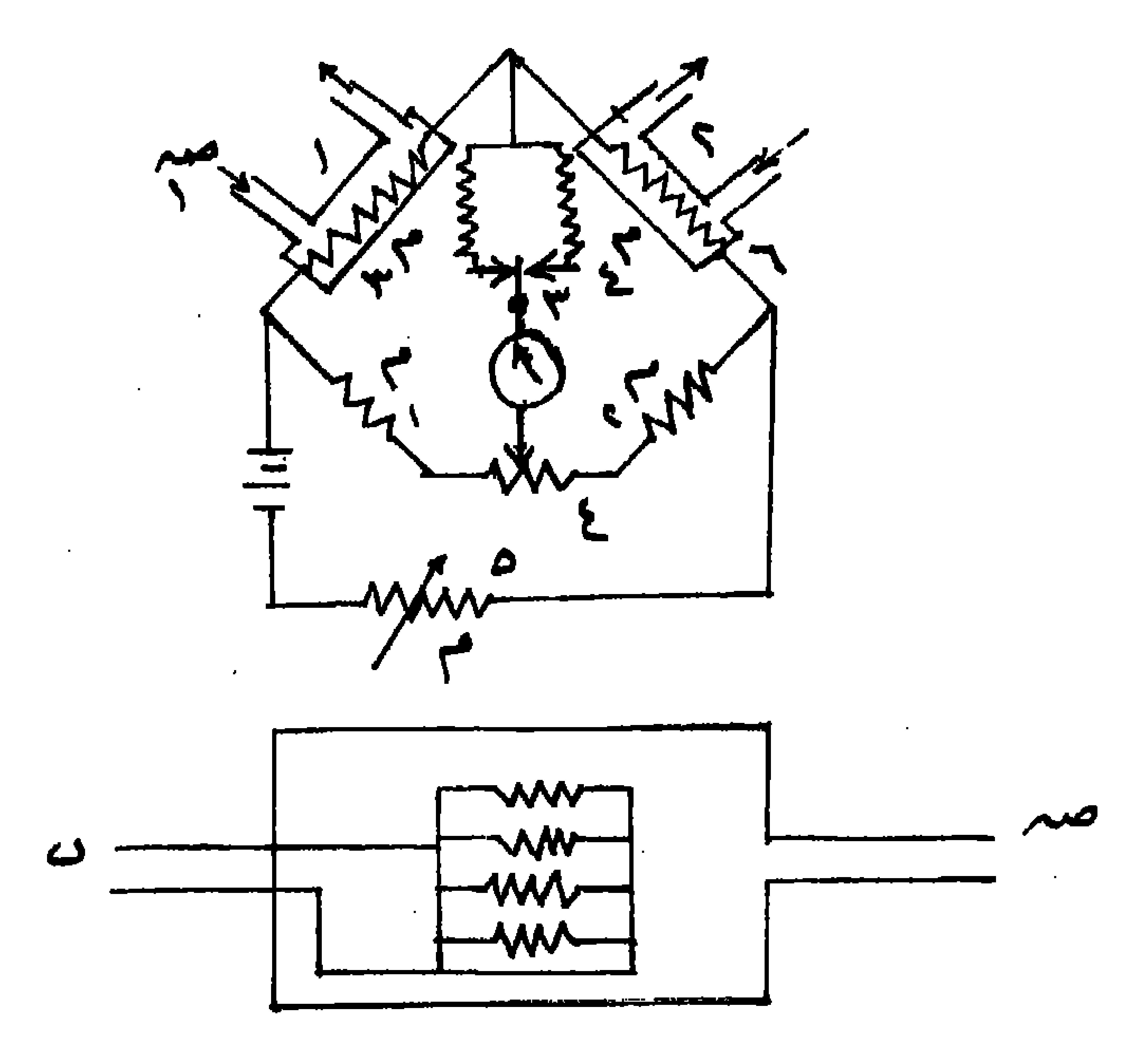
يستخدم هذا النوع من الأغشية كعنصر لقياس مدلول مقياس الضغط «أو الضغط

الفرق . ويتكون الجزء الأساسى فى المقياس ذى الغشاء الرخو من غشاء (رق) قابل للثنى من نوع خاص من الجلد لقياس الضغوط المنخفضة (حتى ٢٠٠ مم ماء مقياس) أو من قماش نايلون مشرب للضغوط العالية . ويستند الغشاء من كلا جانبيه على لوحين من معدن خفيف . والغشاء مرتب بحيث يوجد به ارتخاء ملموس يسمح بالحركة الكاملة لشوط واسع . ويحد شوط الغشاء بوصول الألواح الساندة إلى السكون على مصد ، لكى تكون الألواح مستندة فى وضع زيادة التحميل . ومبدأ التشغيل هنا يماثل مبدأ تشغيل المانومتر ذى المكبس حيث يقوم الغشاء هنا بعملية الإحكام (كمانع للتسرب) . لهذا فإن القوة المؤثرة على الغشاء تكون حاصل ضرب المساحة الفعالة للألواح الساندة فى الفرق بين الضغطين المؤثرين على السطحين . وتتأثر المساحة الفعلية للألواح مباشرة بدرجة ارتخاء الغشاء ، غير أنها لا تتجاوز بأية حال من الأحوال ، مساحة الألواح مضافاً إليها نصف الحيز الخلفى بين الألواح والعلبة . ويوجد زنبرك معاير من البريليوم– النحاس مركب بحيث يعمل فى اتجاه مضاد لحركة الغشاء .

٨/٥ طرق أخرى لقياس الضغط :

١/٨/٥ مقياس «بيرانى» :

(شكل رقم ٤٦ ، وهو عبارة عن قنطرة «هويتستون» ذات مصدر قدرة منظم ليزود خلية القياس مخلية تعويض درجة الحرارة بدخل حرارى ثابت . والضغط فى خلية التعويض مخفض إلى حوالى ١ ميكرومتر زئبق . وتحت هذه الظروف فإن الطاقة المفقودة بواسطة السلك المسخن سوف تنتقل بالإشعاع أو تفقد على طول أسلاك التوصيل الخاصة بالمدخل . وتستقبل خلية القياس نفس الطاقة ، غير أنها قد تفقد حرارة بالحمل أو التوصيل بأى غاز موجود بالإضافة إلى طرق فقد الحرارة التى تفقد بها الخلية المرجع . ومادامت طاقة الدخل واحدة لكل من الخليتين ، وفى الوقت ذاته تبرد خلية القياس بمعدل أكبر ، فإنه بالتالى تنخفض درجة حرارتها أكثر من الخلية المرجع ، ويؤدى ذلك



الشكل رقم (٤٦)

مقياس (بيراني) .

(١) خلية قياس توصيل بالضغط المنخفض ض .

(٢) خلية مرجع (يمكن تفريغها وإغلاقها بإحكام .

(٣) مفتاح المدى .

٤) بوتنشيو متر معايرة .

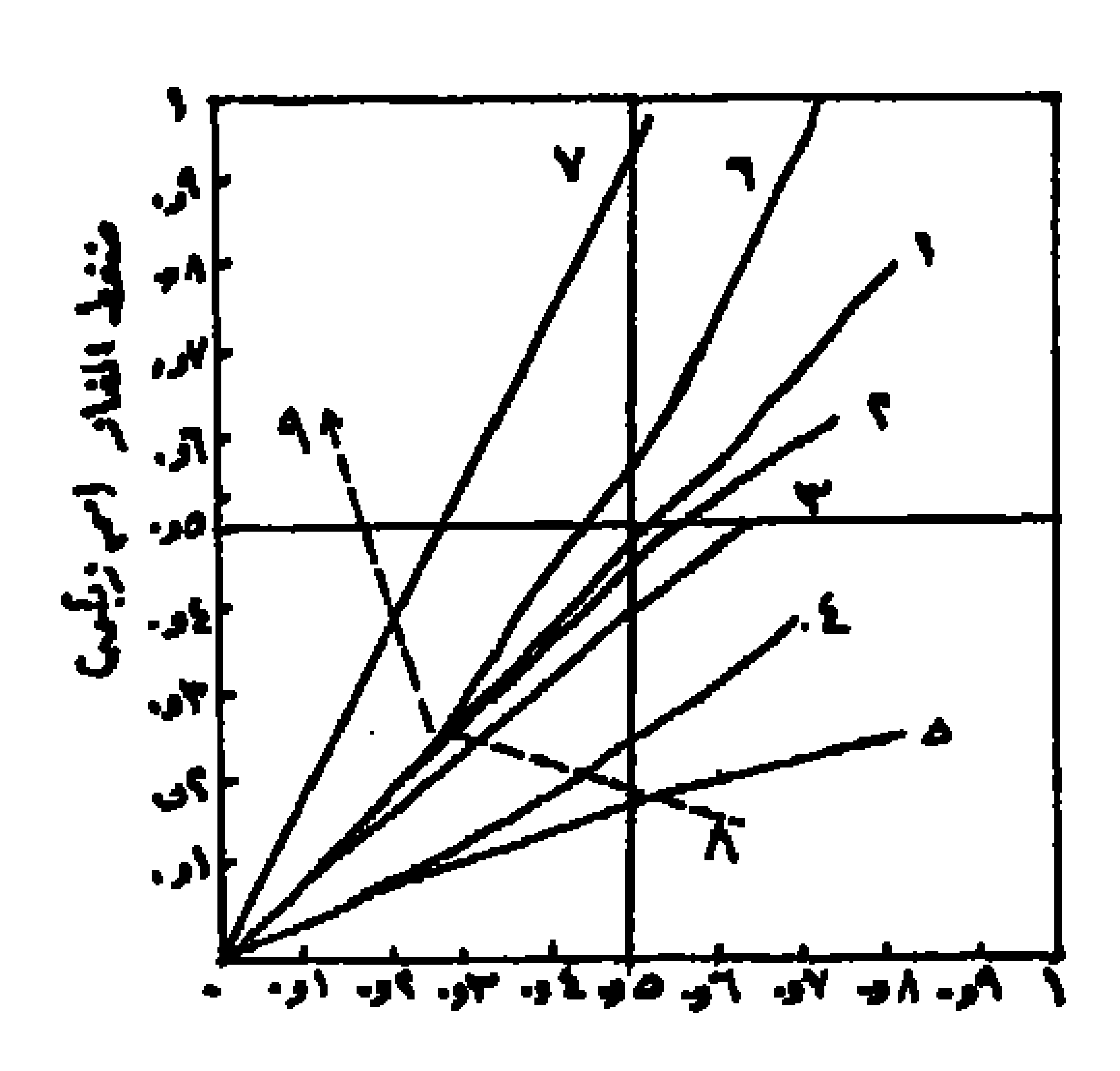
(٥) ريوستات .

(٦) فتيلة ساخنة .

(ا) تسخين .

(ب) مصدر قدرة ، ض = الضغط .

إلى اختلال فى توازن الجهد بقنطرة «هوتستون» ويمكن قياسه باية طريقة مناسبة ، ويعتمد أداء مقياس بيرانى على نوع الغاز المستخدم (شكل ٤٧)



الشكل رقم (٤٧)

تدريج بالمليمتر زئبق (معاير بالنسبة للهواء).

الاستجابة النسبية للغازات المختلفة فى مقياس بيرانى مقارنة بالنسبة للهواء.

(١) هواء (تستخدم لمعايرة المقياس).

(٢) بخار ماء.

(٣) هليوم.

(٤) إستيلين.

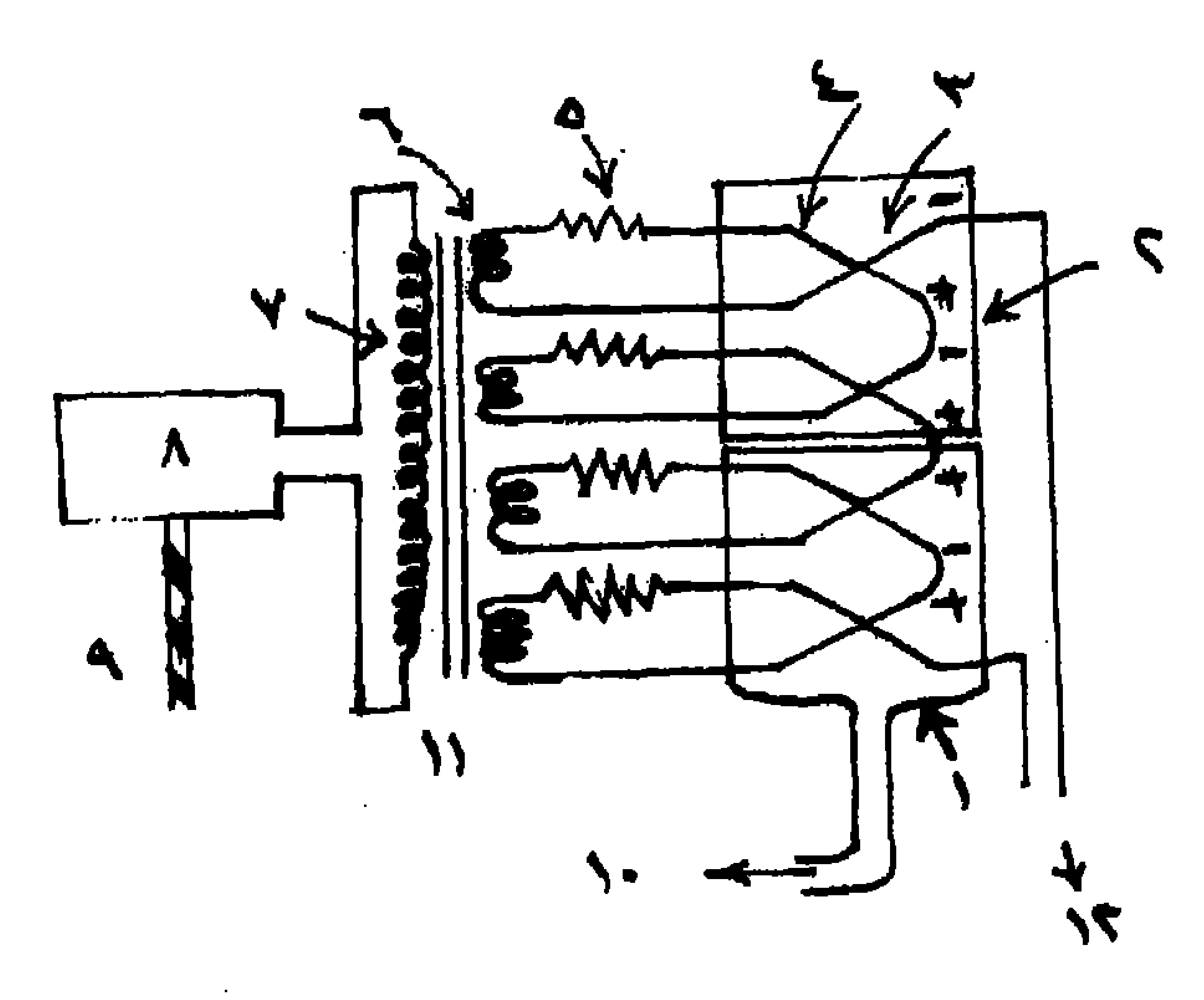
(٥) هيدروجين.

(٦) ثانى أكسيد الكربون.

(٧) أرجون.

(٨) تأثير تبريد أكبر من الهواء.

(٩) تأثير تبريد أقل من الهواء.



الشكل رقم (٤٨)

مقياس التفريغ ذو المزدوجة .

يستخدم مصدر قدرة منظم للمحافظة على الحساسية والكفاءة وعندما يتساوى ضغط كل من خلية القياس والخلية المرجعية تتساوى درجة حرارة الفتائل وحينئذ تتساوى القوة الدافعة فى المزدواجات ويكون فرق الجهد صفراً .

(١) خلية القياس .

(٢) الخلية المرجعية .

(٣) ازدواجات .

(٤) فتائل .

(٥) مقاومات معايرة .

(٦) ملفات ثانوية .

(٧) ملف ابتدائى .

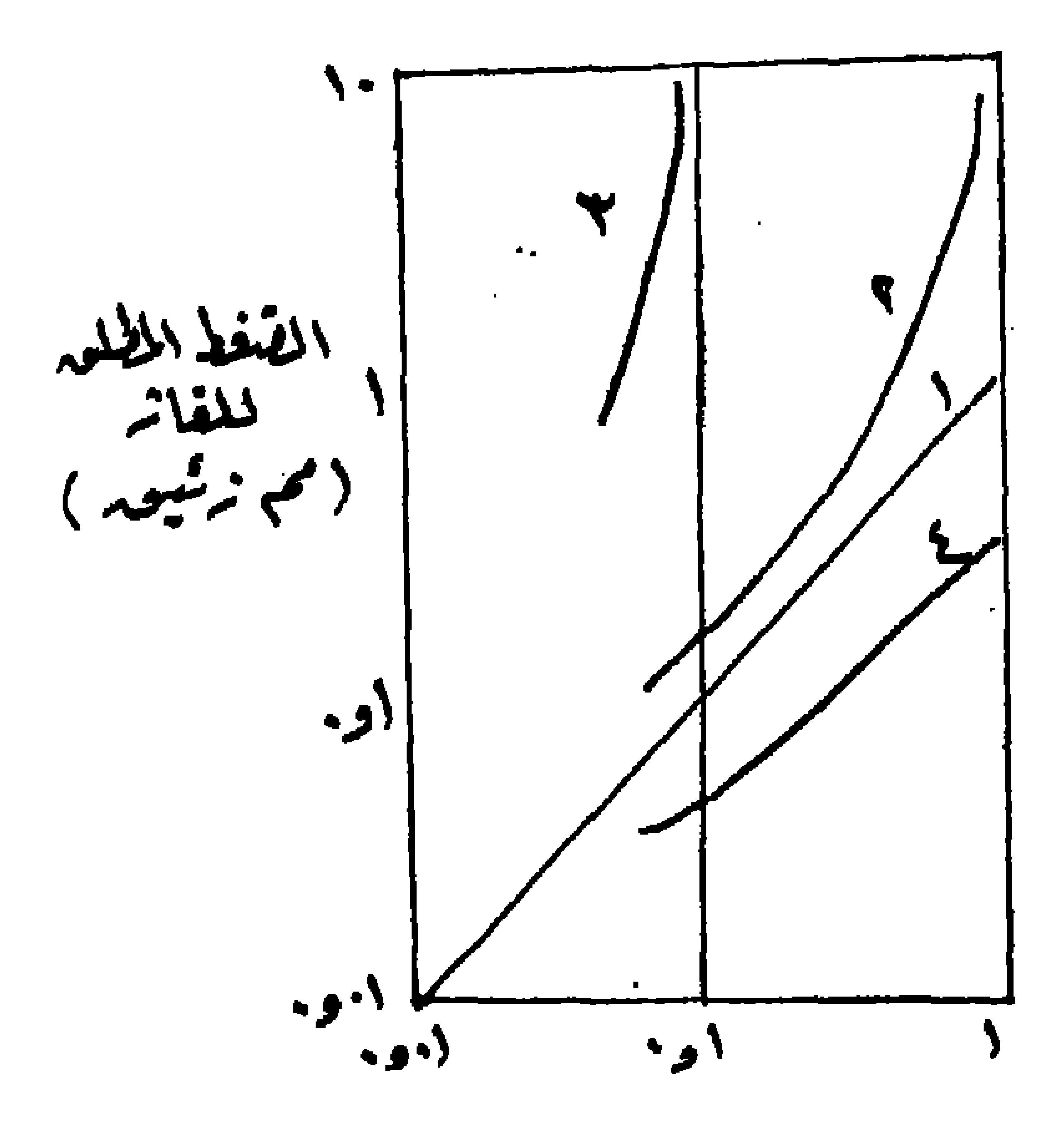
(٨) منظم جهد .

(٩) خط الجهد .

(١٠) توصيلة الضغط المقيس .

(١١) محول .

(١٢) توصيلتانلمقياس الجهد .



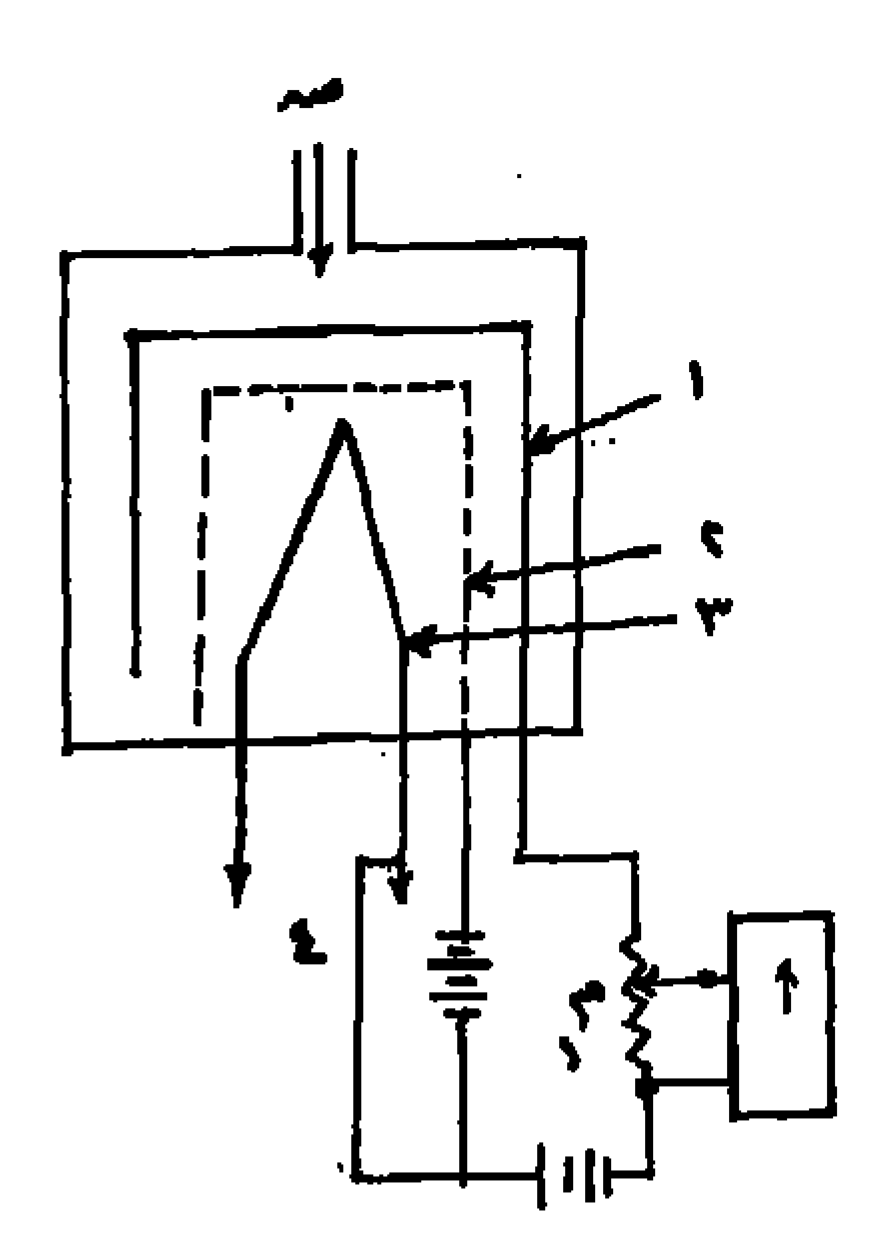
الشكل رقم (٤٩)

قراءات مقياس التفريغ ذو المزدوجة (معاير بالنسبة للهواء الجاف).

التصميمات الواجب إدخالها عند استعمال غاز لمد الهواء فى مقياس الضغط ذو المزدوجة.

(١) هواء. (٣) زينون.

(٢) أرجون. (٤) هيدروجين.



الشكل رقم (٥٠)

مقياس التفريغ بالتأين.

(١) لوح (– ٢٠ فولت).

(٢) شبكة (+ ١٥٠ فولت).

(٣) فتيل تسخين.

(٤) مصدر قدرة منظم ض : ضغط منخفض.

٥/٨/٢ مقياس التفريغ ذو المزدوجة الحرارية :

يوجد تشابه كبير بين هذا المقياس ، وبين مقياس بيرانى فالتركيب والمدى والامتداد للضغوط التى يمكن قياسها لكل منهما واحد . إذ يتكون مقياس التفريغ شكل رقم (٤٨) من خليتين متماثلتين تماماً ، يوجد بكل منهما مقاومة تسخن كهربياً وتفرغ إحدى الخليتين وتتخذ كمرجع . أما الأخرى وهى التى يوصل بها الضغط المطلوب قياسه فتسمى خلية القياس ، ووجود غاز بخلية القياس يبرد المقاومة بها إلى درجة أقل من درجة حرارة المقاومة الموجودة بالخلية المرجع وتوصل مزدوجة حرارية بالنقطة الوسطى للمقاومة بالخلية المرجع وأخرى لمقاومة خلية القياس ، وهاتان المزدوجتان تعطيان قوة دافعة كهربائية تتناسب مع فرق درجة الحرارة بين وصلتيهما ، فإذا وضعت الوصلات المرجعية للمزدوجتين فى درجة حرارة واحدة ووصلت المزدوجتان على التوالى ولكن متعاكستين ، فإن القوة الدافعة الكهربائية الناتجة سوف تكون انعكاساً للفرق فى درجتى حرارتى الوصلات الساخنة ويوضح الشكل رقم (٤٩) التصحيحات الواجب إدخالها عند قياس ضغط غاز غير الهواء .

٥/٨/٣ مقياس التفريغ بالتأين بواسطة فتيلة ساخنة :

يتكون هذا المقياس من خلية بها ثلاث إلكترودات هى كاثود ثرمولى يعطى دفقاً غزيراً من الإلكترونات عند ارتفاع حرارته ، وشبكة ، ولوح ويوضح الشكل رقم (٥٠) مقياس التفريغ بالتأين (الفتيلة الساخنة) ويحافظ على جهد الشبكة عند +١٥٠ فولت وجهد اللوح عند جهد سالب مقداره ٢٥ فولت على وجه التقريب .

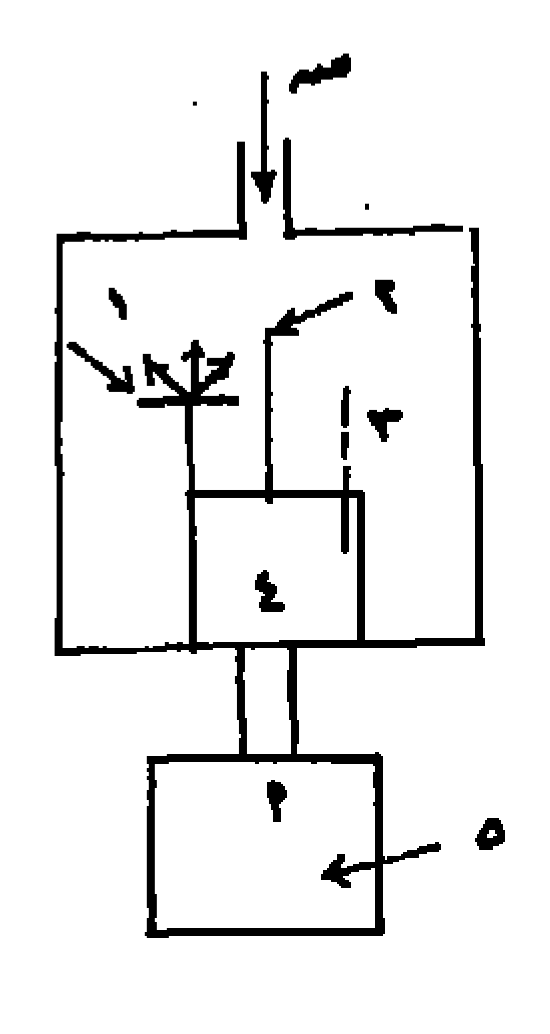
ويؤدى جهد الشبكة الموجب والعالى أيضاً إلى تسارع الإلكترونات بعيداً عن الكاثود ، بعض هذه الالكترونات يستطيع المرور عبر الشبكة ويصدم قسم منها أثناء حركتها بعض جزيئات الغاز التى قد تكون موجودة فإذا كانت طاقتها كافية فإن جزئيات الغاز تنقسم إلى جسيمات موجبة وأخرى سالبة الشحنة وتنجذب الجسيمات الموجبة نحو

اللوح فتعطى تياراً يمكن كشفه وتؤثر درجة الحرارة العالية للكاثود إلى تحلل الغاز الذى يقاس ضغطه وبالتالى فإن الضغط المبين يعتمد على تركيب الغاز.

٥/٨/٤ مقياس التفريغ بالتأين بواسطة مصدر مشع :

ينشأ عن درجة الحرارة العالية التى يعطى عندها الكاثود (الفتيلة) دفقاً كافياً من الإلكترونات عدد من مشاكل التشغيل بالنسبة لمقياس التفريغ ذى الفتيلة الساخنة، ذلك أن الكاثود يتأكسد إذا وجد فى الخلية قدر ملموس من الأوكسجين. كما أن الغازات التى تكون موجودة قد تهاجم الكاثود أو تتفاعل معه تفاعلات غير مرغوبة وأيضاً فإن الغازات التى تتحلل قد تتفكك. هذه المشاكل أدت إلى وضع مصدر مشع داخل خلية الضغط تحتوى على مجمع وتقوم الجسيمات المشعة بتأيين الغاز، بنفس الطريقة التى تؤين بها الإلكترونات السريعة جزيئات الغاز فى المقياس ذى الفتيلة الساخنة السابق (بند ٥/٧/٣).

وفى مقياس التفريغ بالتأين الناتج عن جسيمات ألفا (شكل رقم ٥١) تكون الطاقة المتاحة



الشكل رقم (٥١)

مقياس الضغط بواسطة التأين بأشعة α ولا يستخدم فتيل فى هذا المقياس مما يتيح إمكانية قياس ضغوط أكبر مما يمكن قياسه بمقياس الضغط ذو الفتيل الساخن غير أن ذلك يكون على حساب حساسية الجهاز.

(١) باعث جسيمات ألفا.
(٢) الكترود نصف محجب.
(٣) مجمع.
(٤) مضخم الدخل.
(٥) مضخم تقارن مباشر. ض = الضغط المقيس.

من هذه الجسيمات أقل كثيراً مما يتاح بالإلكترونات فى المقياس ذى الفتيل الساخن وبالتالى فإن حساسية الأخير تكون أفضل من حساسية مقياس التفريغ بالتأين بواسطة مصدر مشع لجسيمات ألفا ، غير أن مقياس التفريغ بالتأين بواسطة جسيمات ألفا لا يتلف ، فليس به فتل يتأكسد . ويمكن لهذا المقياس تتبع انخفاضات الضغط السريعة بدقة أكبر .

٥/٨/٥ مقياس الضغط الكهربائى الإجهادى :

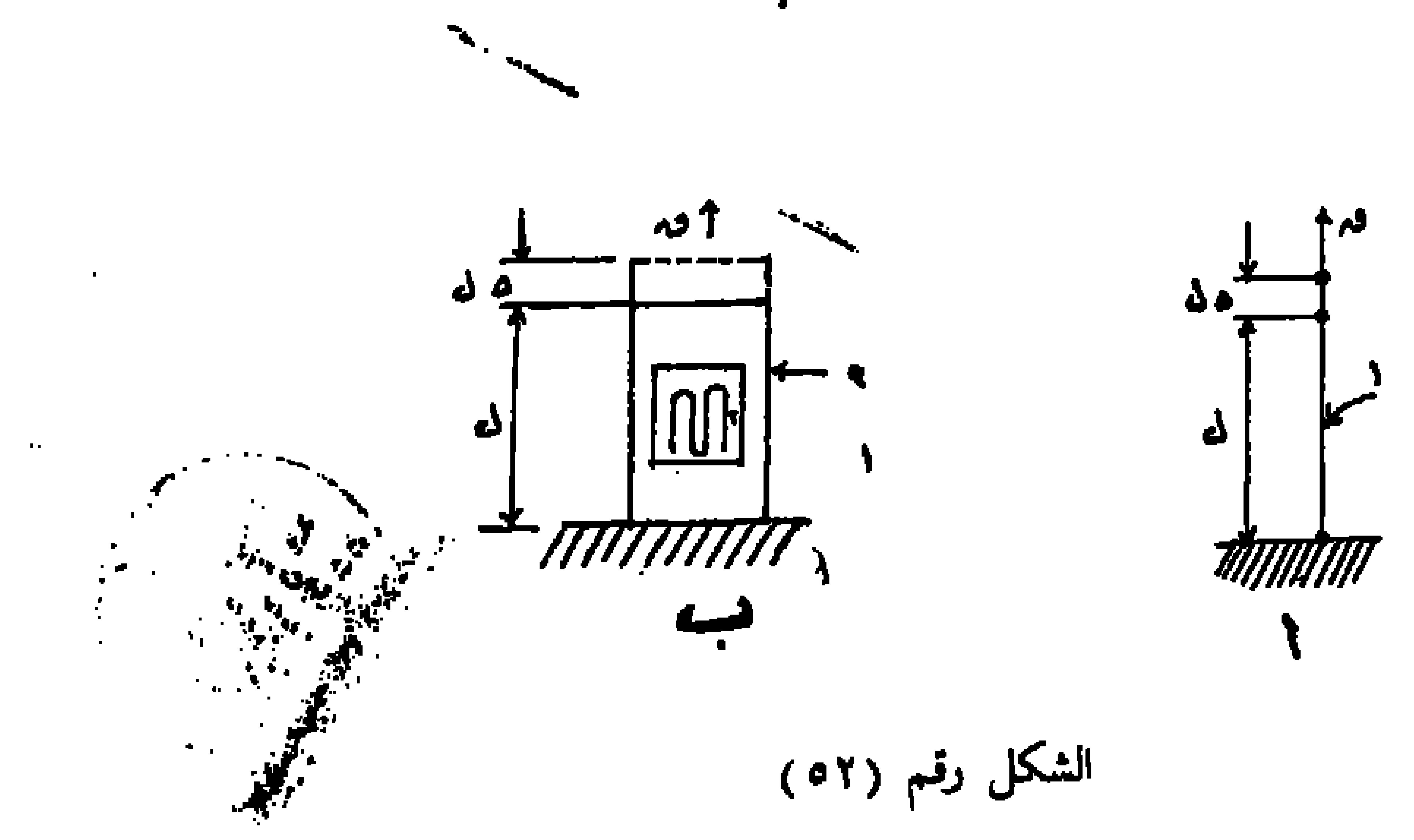
يتكون هذا المقياس أساساً من بلورة كوارتز موضوعة بين لوحين وعندما يعرض اللوحان للضغط تنشأ قوة دافعة كهربائية بينهما وتتخذ هذه القوة الدافعة الكهربائية مقياساً للضغط . لذلك تستخدم وسائل مناسبة لقياس القوة الدافعة الكهربائية ومنها يعرف الضغط المسلط ، وهذا المقياس يناسب بصفة خاصة قياس الضغط الذى تتغير قيمته كثيراً بين لحظة وأخرى ، كما فى حالة قياس الضغط فى عمليات التفاعلات الكيميائية ، أوفى ماكينات الاحتراق الداخلى .

٦/٨/٥ طريقة مقياس الانفعال بتغير المقاومة :

يعرف الانفعال بأنه تغير فى الشكل ، أوتشوه فى ماده نتيجة تسليط قوة عليها . ومقياس الانفعال هو وسيلة تستخدم تغير المقاومة لسلك تحت الانفعال فى قياس الضغط ، ويقوم مقياس الانفعال بتغيير الحركة الميكانيكية إلى إشارة كهربائية عندما يتغير طول سلك ، بالشد أو الضغط ، وبالتالى يتغير قطره ، مما يؤدى إلى تغيير المقاومة ، ويتخذ تغيير المقاومة مقياساً للضغط المسبب للتشوه الميكانيكى .

وتشمل وسيلة قياس الضغط الكاملة عنصراً حساساً للضغط مثل أنبوبة « بوردون » أومنفاخاً أوغشاء ومقياساً للانفعال متصلاً بهذا العنصر ، ومصدر قدرة ثابتة وأداة بيان . ويوضح الشكل رقم (٥٢) النوعين العامين من مقاييس الانفعال اللذين تم

تطويرهما منذ اختراع مقياس الانفعال ويسمى أحدهما للقياس الملتصق والآخر غير الملتصق . ويتكون مقياس الانفعال غير الملتصق من سلك حساس للانفعال ذو طرف مثبت بالعنصر المطلوب قياس انفعاله أو تمدده ، أما الطرف الثانى له مهو قابل للتحرك مع هذا العنصر ، محيث إن القوة المطلوبة فى مقياس الانفعال غير الملتصق صغيرة نسبياً فإنه أمكن صناعة عناصر حساسة صغيرة المدى والحجم تجمع فى الوقت ذاته بين ميزتى الوقاية من التحميل الزائد والتخميد .



الشكل رقم (٥٢)

نوعان من مقاييس الانفعال .

(ا) مقياس الانفعال من النوع غير الملتصق .

(ب) مقياس الانفعال من النوع الملتصق .

فى النوع الملتصق يلتصق السلك بالعنصر الذى يستطيل بينما النوع غير الملتصق يكون السلك مثبتاً من طرف واحد فقط ويتمدد عندما يستطيل الجزء الذى يقاس انفعاله .

(١) سلك الانفعال .

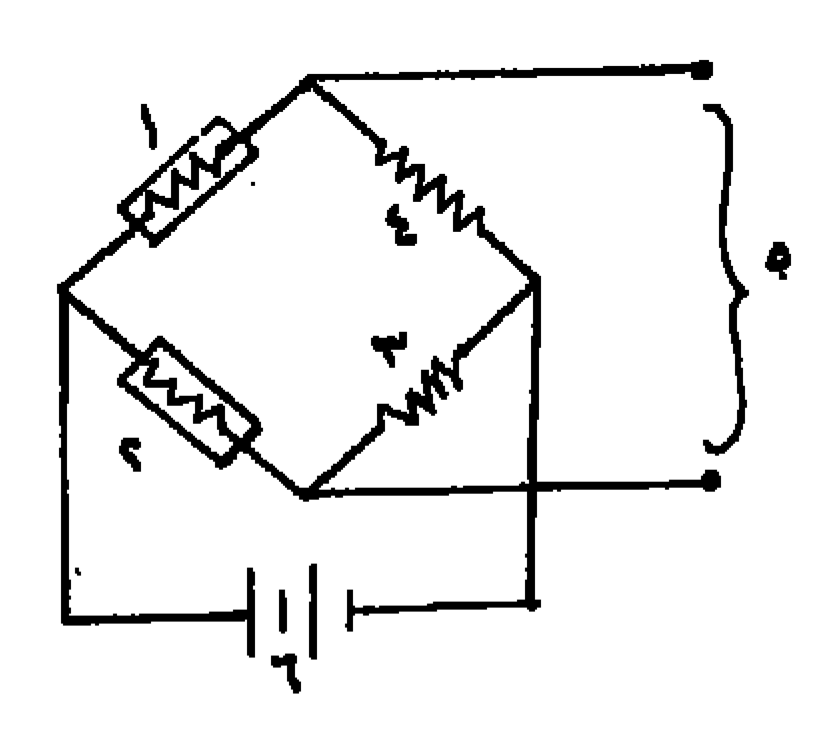
(٢) جزء معدنى .

ويتكون مقياس الانفعال الملتصق من سلك أو رقيقة حساسة للانفعال وملتصق بالعنصر الذى يتطلب قياس تمدده أوانفعاله وهذا النوع يناسب قياسات الشد فقط ويتم العزل الكهربائى بواسطة مادة لاصقة أوعازلة توضع على مقياس الانفعال .

والقوة اللازمة لإحداث انفعال يمكن قياسه كبيرة نسبياً . وذلك بسبب زيادة جساءتها ويعمل المقياس الملتصق تحت الشد أو الانضغاط أو الثنى ، ويتم القياس بنقل الانفعال من العنصر المعدنى خلال المادة اللاصقة ومادة الظهر إلى مقياس الانفعال . وتتحدد دقة القياس بخصائص كل من المادة اللاصقة ومادة الظهر لأنهما تقعان فى طريق القوة المسلطة وتكون المواد اللاصقة ومواد الظهر من نوع «أبوكس» .

وتستخدم الأسلاك والرقائق المعدنية والسبائكية فى صناعة مقاييس الانفعال القياسية . وقد أمكن منذ عدة سنوات استخدام المواد نصف الموصلة (أشباه الموصلات) مثل السليكون فى صنع مقاييس الانفعال ، وهى تتميز على المواد الموصلة بأن نسبة التغير فى المقاومة إلى المقاومة الأصلية للعنصر تكون أكبر ، كما أمكن حديثاً استخدام الأغشية فى مقياس الانفعال . ويتم إعداد هذه الأغشية بالترسيب تحت تفريغ عال بأساليب فنية مماثلة لتلك المتبعة فى عمل الدوائر الكهربائية للتليفزيون وغيرها .

وأياً كان نوع مقاييس الانفعال المستخدم فإنها تستعمل المقياس عن طريق إدخالها فى قنطرة هويتستون كما بالشكل رقم (٥٣) ،عندما يسلط الضغط المطلوب قياسه فإن



الشكل رقم (٥٣) .

مقياس إنفعال مستخدم فى دائرة قنطرة هويتستون .

(١) مقياس الانفعال .

(٢) معوض درجة الحرارة .

(٣، ٤) مقاوماته .

(٥) الخرج .

(٦) مصدر قدرة .

مقاومة مقياس الانفعال تتغير نتيجة تغير شكل العنصر الحساس به سواء كان سلكاً أو رقيقة أو غشاء ، وبالتالى يتغير جهد الخروج من القنطرة غير أن هذا الجهد لا يمكن قياسه بواسطة فلطمتر عادى ، لهذا يتم تكبير الجهد حتى يحرك مؤشر الجهاز المستقبل له . وعند استخدام مقاييس الانفعال فإنه يكون ضرورياً . فى معظم الأحوال ، تعويض التغير فى درجة الحرارة لأن مقياس الانفعال والمادة اللاصقة يتمددان أو ينكمشان مع تغير درجة الحرارة ويتم التعويض بواسطة مقاومات تعويض تدخل فى دائرة قنطرة هويتسون المستخدمة فى القياس . وفى العادة تتراوح مقاومة دائرة محول الانفعال ، باستثناء النوع ذى الغشاء ، ما بين ١٠٠ ، ٥٠٠ أوم . وتستخدم قدرة مترددة أو مستمرة ويكون جهد الخرج حوالى ١ -٣ ملى فولت لكل فولت من الدخل .

وتتراوح دقة مقاييس الانفعال بصفة عامة بين ± ٠.١ ٪ إلى ±٢ ٪ من التدريج الكامل وتعتمد الدقة على المواد المستخدمة والتصميم . ويتراوح مدى القياس لها بين حوالى ١ كيلو بسكال إلى ١٤٠٠٠٠ كيلو بسكال (١ كيلو بسكال = ٦.٨٩٤٨ باوند قوة لكل بوصة مربعة)

٥ / ٩ ملاحظات خاصة بتركيب واستعمال أجهزة قياس الضغط :

١ - يوصى باستعمال أنابيب وملحقات ضغط نحاسية ، قابلة للانثناء فى معظم التركيبات وبصفة خاصة للضغوط المنخفضة والتفريغ العالى عندما لا يمكن تحمل حدوث أى تسرب فى خطوط أو توصيلات مقياس الضغط ، ويجب أن يكون خطوط الضغط مناسبة لتحمل الضغط المقاس وكذلك الصدأ الناتج عن مادة الوسط الذى يقاس ضغطه .

٢ - تتأثر سرعة استجابة مقاييس الضغط بمقاس أنابيب القياس من الداخل وكذلك أطوالها ، لذا يجب دراسة مقاسات الأنابيب والأطوال المناسبة لكل تطبيق على حدة وبصفة خاصة فى التطبيقات التى تستخدم فيها أجهزة للتحكم فى الضغط . أو

مقاييس للتفريغ والضغوط المنخفضة حتى يتم تجنب الاستجابة البطيئة .

٣ – يوصى بتركيب محبس شكل T فى خط الأنابيب قريباً من مقياس الضغط لأنه يسمح بنزع المقياس لاختباره أو استبداله بآخر دون حاجة لإيقاف العملية الصناعية التى يقاس الضغط بها .

٤ – ينتج عن مرور الضغوط النابضة فى خطوط المقياس أن تعطى الحركة الثابتة المريشة أو المؤشر إشارة غير مقروءة ، وقد ينسكب الحبر إذا كانت النبضات عنيفة وربما يتلف العنصر الحساس للضغط قبل الأوان .

ويمكن تخميد النبضات أو تقليلها بإدخال اختناقات (أى مقاومات) ،زيادة سعة خط الأنابيب ، وأبسط أنواع وسائل تخميد النبضات عبارة عن صمام إبرى يتم تركيبه فى خط أنابيب المقياس على بعد حوالى متر من المقياس . ويجب مراعاة إغلاق هذا الصمام الإبرى ببطء حتى يبين المؤشر أو الريشة ضغطاً ثابتاً ويستجيب فى الوقت ذاته لأية تغييرات ملموسة فى الضغط . وإذا لم تكن سعة الخط كافية فيمكن أيضاً تركيب خزان (عبارة عن أنبوبة ذات قطر أكبر مزود بغطاءين) كما هو موضح بالشكل رقم (٥٤) . وتجب مراعاة أن إدخال صمامات إبرية فى الخط لا يكون حسبما اتفق ، ولكن باحتياطات خاصة لضمان أن القراءات التى يعطيها الجهاز هى فعلاً القيم الصحيحة للضغط المقيس :

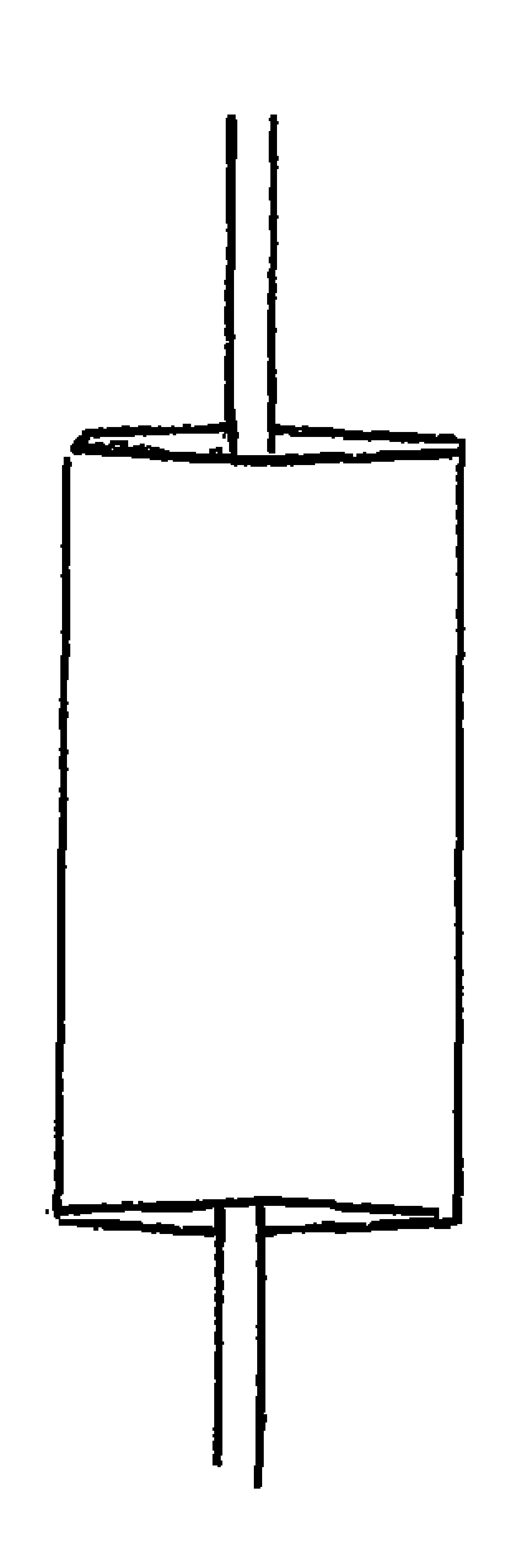
٥ – إذا كانت المادة التى يقاس ضغطها مسببة للصدأ فإنه يجب عزلها عن المقياس إلا إذا كان مصنوعاً من مواد لا تصدأ ، ويمكن عزل مادة الوسط عن المقياس بإحدى الطرق التالية :

(ا) مانعات التسرب السائلية :

يملأ مقياس الضغط وخط الأنابيب الموصل به بسائل خامل يظل فى مكانه ، يمنع من الاختلاط بالوسط المسبب للصدأ باستخدام مانع للتسرب ، ويختار السائل المانع

للتسرب مع الأخذ فى الاعتبار أن يكون مقاوماً للاندماج الكيميائى مع وسط الضغط وكذلك مقاوماً للاندماج الفيزيائى معه فلا يذوب فيه أو يحدث إلغـام بينهما وأن يكون الوزن النوعى مناسباً بحيث يبقيه منفصلا عن وسط الضغط فى درجات الحرارة المختلفة كما تكون خصائصه الفزيائية الأخرى مثل اللزوجة وضغط بخاره ونقطة تجمده مناسبة .

ويجوز أن يكون السائل المانع للتسرب أخف أو أثقل من وسط الضغط .



شكل رقم (٥٤)
خزان يستخدم لزيادة سعة خط الأنابيب

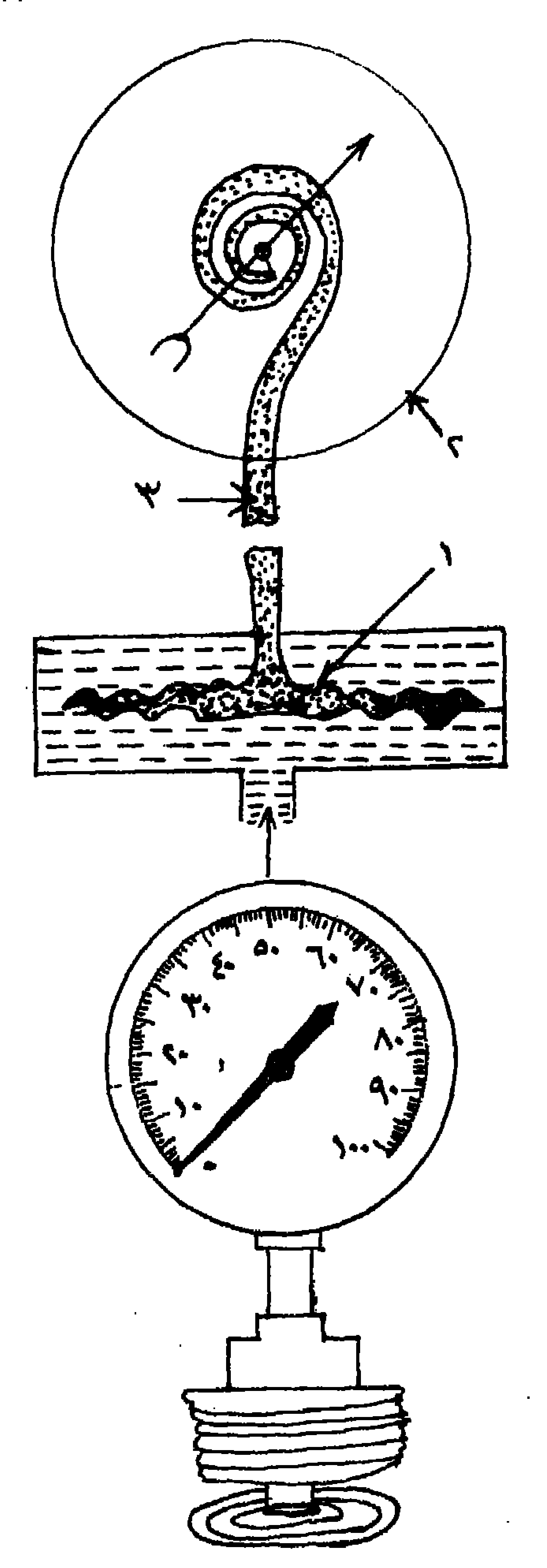
ويشمل الجدول رقم (٧) بعض أوساط الضغط والسوائل المانعة للتسرب المقترحة لكل منها :

الجدول رقم (٧)

وسط الضغط	مانعات التسرب المناسبة
حمض خليك (حتى ٥٠ ٪)	كيروسين ، زئبق (تفاعل بطىء جدًا)
أسيتون	محلول ٤ ٪ كلوريد كالسيوم
أمونيا	زئبق ، زيت معدنى نقى خفيف
بترول	محلول كلوريد الكالسيوم (٤٠ ٪)
زيت وقود	محلول كلوريد الكالسيوم (٥٠ ٪) جلسرين وماء
صودا كاوية	كيروسين ، زيت معدنى نقى
غاز كلور	غشاء مانع للتسرب – فضة أو تنتاليوم ، نظام تطهير
حمض هيدروكلوريك	غشاء فضة ، بيروكلوريثيلين كمفردة فى غشاء مزدوج
حمض لاكتيك	كيروسين
حمض فسفوريك	زيت معدنى بالنسبة للمحاليل المخففة من الحمض
حمض كبريتيك	زيت معدنى نقى

(ب) مانع التسرب الكبسولى :

يمكن تزويد المقياس بمجموعة مانعة للتسرب تحتوى على غشاء خامل يبقى السائل فى المقياس ويمنع وسط الضغط من ملامسته وتوضح الأشكال أرقام ٥٥ ، ٥٦ ، ٥٧ .



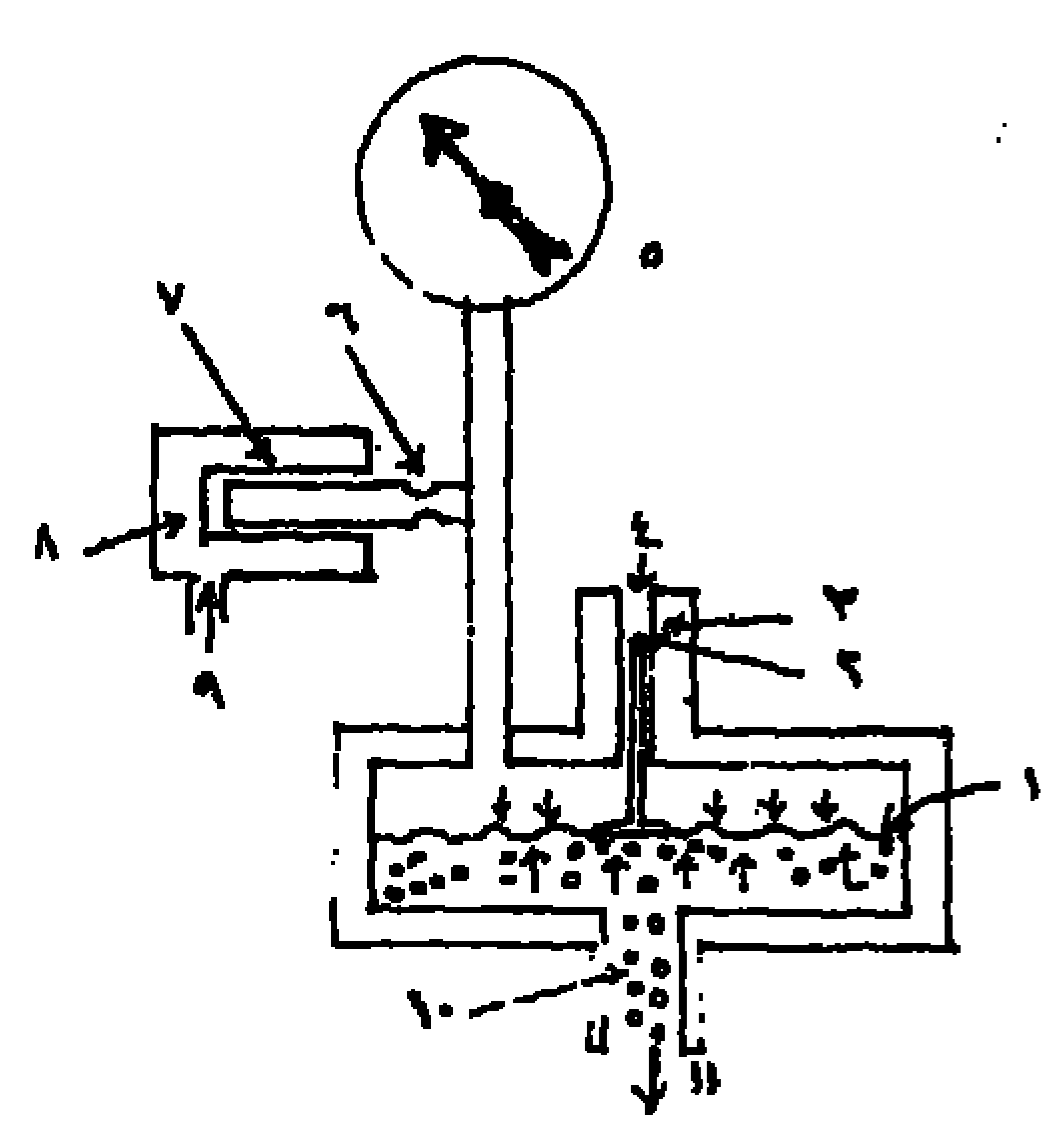
الشكل رقم (٥٥)

مانع تسرب كبسولى .
(١) كبسولة .
(٢) جهاز القياس .
(٣) أنبوبة شعرية .
من : الضغط المقيس .

الشكل رقم (٥٦)

مانع تسرب يحصر (يحد) السائل داخل العنصر الحساس للجهاز .

ثلاثة أنواع مختلفة من مانعات التسرب موازنات القوى إحداها بنيومانى (شكل ٥٧)



الشكل رقم (٥٧)

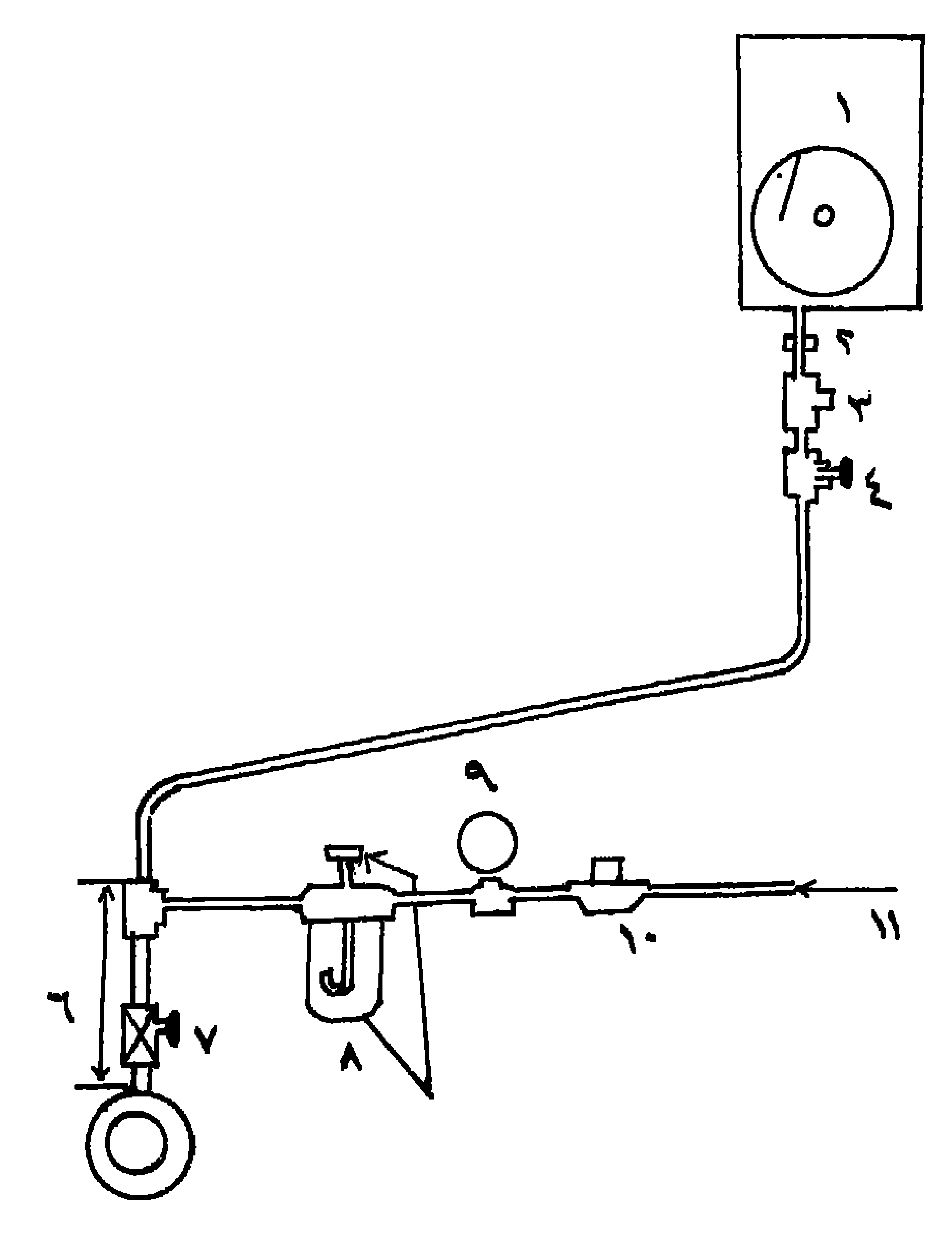
مانع تسرب بنيوماتى .

(١) كبسولة .
(٢) كرة الصمام .
(٣) فتحة الصمام .
(٤) الضغط الجوى .
(٥) مقياس الضغط .
(٦) فتحة .
(٧) مرشح .
(٨) هواء .
(٩) مدخل الهواء .
(١٠) المائع الذى يقاس ضغطه .
(١١) توصله إلى الضغط المقيس .

والآخران هيدروليكيان . ويراعى تنظيف مانع التسرب من وقت لآخر أثناء الاستخدام حتى لا تترسب طبقة من المواد المستخدمة فتقلل الضغط المؤثر على مانع التسرب .

(جـ) نظم التطهير :

يمكن إخراج المواد الجامدة أو اللزجة أو الندفة (الزغبة) من مقياس الضغط ومن خط الأنابيب بواسطة نظام تطهير يعمل بسائل أو غاز الشكل رقم (٥٨) . ولكن يجب التأكد مما يلى :



الشكل رقم (٥٨) نظام تطهير بالماء أو الهواء .

يمكن استخدامه لاخراج وسط الضغط الأكال أو الذى يتجمد أو يحتوى على مواد جامدة .

(١) مقياس الضغط .
(٢) وصلة رباط .
(٣) وصلة(T) وصمام .
(٤) محبس المقياس .
(٥) خط أنابيب المقياس ويكون مائلاً .
(٦) البعد الموضح يكون أصغر ما يمكن .
(٧) صمام إغلاق بوابى من مادة مضاده التآكل .
(٨) صمام إبرى وإناء فقاعات يضبط لإعطاء ٦٠ فقاعة كل دقيقة عند أقصى ضغط فى الوعاء الذى يقاس ضغطه .
(٩) مقياس ضغط مداه ٢٠٠٪ على الأقل من أقصى ضغط مطلوب قياسه .
(١٠) صمام تخفيض يضبط على ٢٠٠٪ أو أكثر من أقصى ضغط مطلوب قياسه .

– إن مائع التطهير لا يتحد بدرجة غير مناسبة فيزيائيًا أو كيميائيًا مع وسط الضغط ، وأنه أيضاً لا يخفف وسط الضغط بالقدر غير المناسب ، ويجب أن يكون بإمكان نظام التطهير إخراج الغاز أو الهواء المستخدم كمائع تطهير إلى الجو وإلا فإن العملية سوف تمتلئ بالهواء أو الغاز.

وأكثر الموانع استخداماً الهواء والماء . وبصفة عامة يستخدم الماء فقط عندما يكون وسط الضغط محلولا يتدفق بكمية كبيرة لدرجة أن ماء التطهير لا يخففه إلا بقدر طفيف يمكن إهماله ، والتطبيقات الصناعية التى يجرى فيها ذلك كثيرة كما فى صناعة الورق .

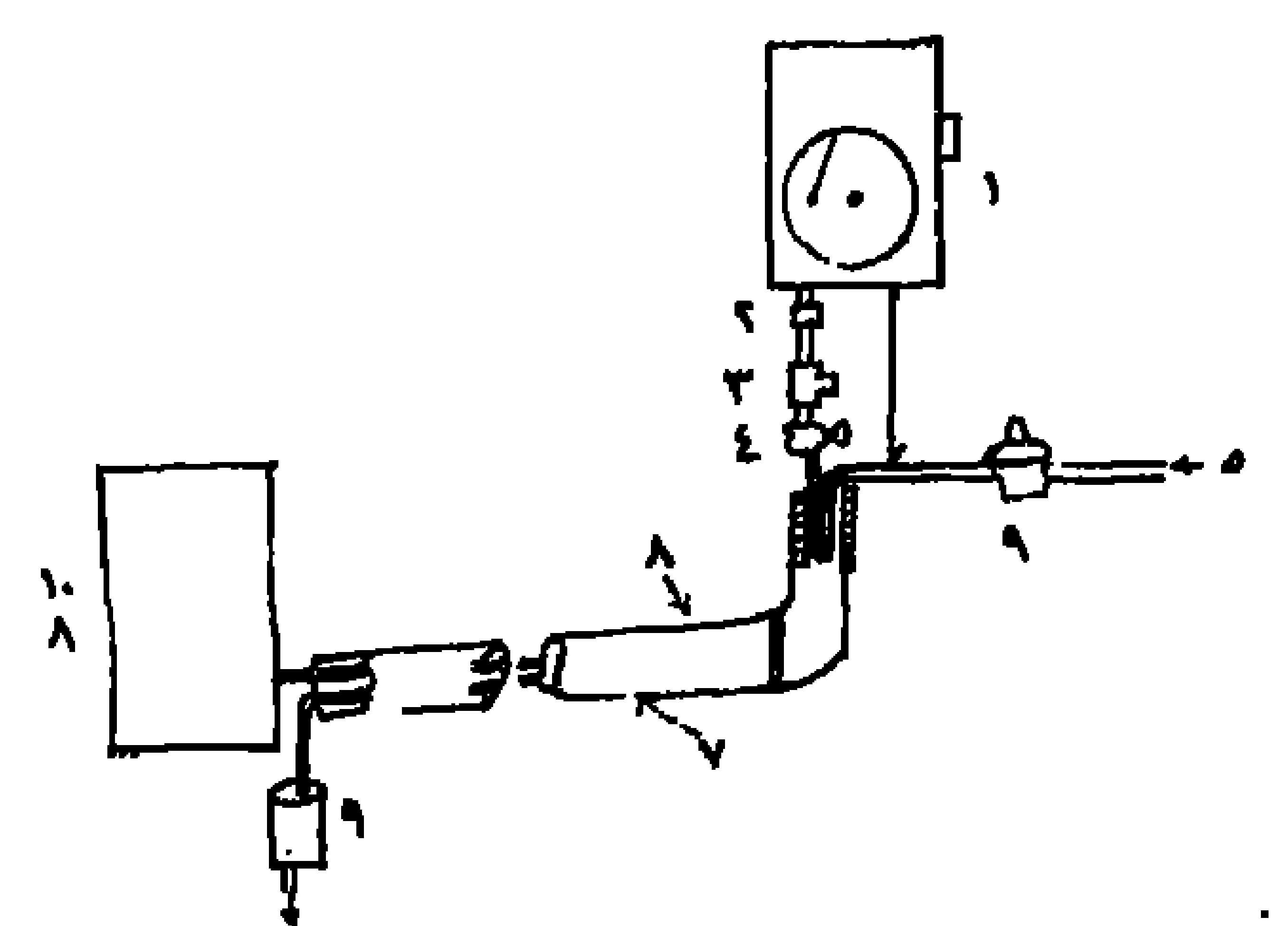
٥ – يمكن توصيل مقاييس الضغط وخطوطه ووصلات العلب المحتوية على أجزاء من الصلب الكربونى مباشرة بالأمونيا دون استعمال مانعات التسرب وذلك لأن الصلب لا يصدأ بغاز أو سائل الأمونيا .

٦ – الإلغام بالزئبق :

حيث إن الزئبق يلغم النحاس بنوعيه الأصفر والأحمر ولحام الفضة وغيرها . وهذا الإلغام يؤدى إلى تلف الأجزاء المحتوية على هذه المعادن ، لذلك يجب العناية بمنع دخول الزئبق أو بخاره دون قصد فى أى جزء من أجزاء المقياس إلا إذا كانت مصنوعة من مواد حديدية مجمعة باللحام كليًا . ويجب ملاحظة أنه فى ظل ظروف كثيرة فإن الهواء المحبوس فى العنصر الحساس لمقياس الضغط يمنع أى سائل أو بخار من دخول المقياس .

٧ – الموائع اللزجة أو المتجمدة :

يجب استبعاد الموائع ، التى يتغلظ قوامها أو تتجمد عند تركها ساكنة أو عند تبريدها ، من مقاييس الضغط وخطوطه . وإذا استدعى الأمر استعمالها فى مقاييس الضغط فإنه يجب المحافظة على إبقائها فى حالة سيولة دائمة عن طريق تسخين خطوط الأنابيب الواصلة للمقياس بواسطة سلك تسخين أو بإمرار بخار ماء ساخن حولها (الشكل رقم ٥٩) .



(١) مقياس الضغط .
(٢) وصلة ربط .
(٣) وصلة على شكل T ، صمام .
(٤) محبس .
(٥) بخار أو ماء ساخن .
(٦) صمام تخفيض .
(٧) خط الأنابيب مائل فى هذه المنطقة .
(٨) أنبوبة تغطى خط الأنابيب وأنبوبة التسخين .
(٩) مصيدة بخار .
(١٠) وعاء .

الشكل رقم (٥٩)

استخدام التسخين (بالبخار) لمنع تجمد وسط الضغط

٨ – درجات حرارة محيطة منخفضة حتى التجمد :

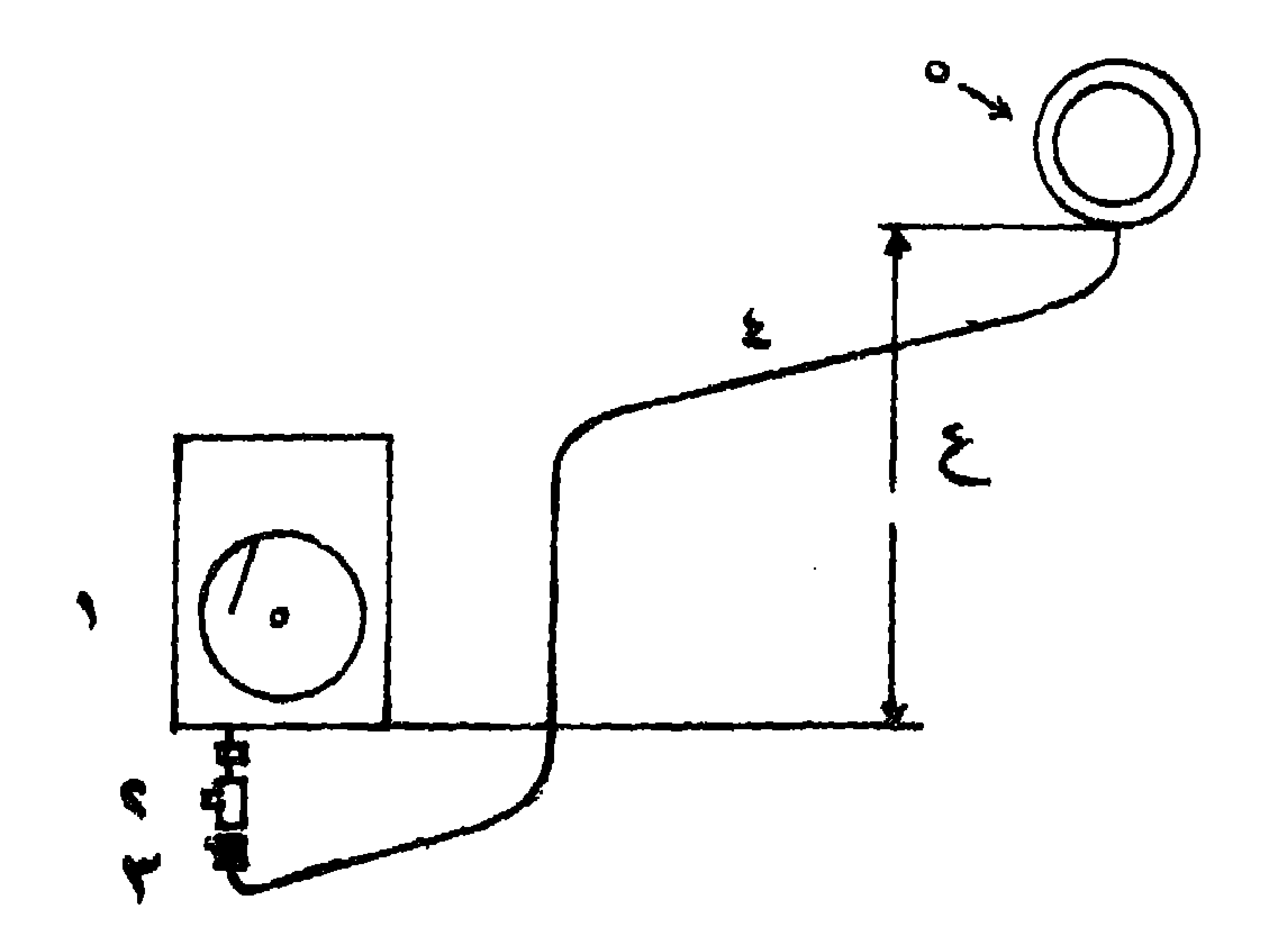
عندما يتطلب قياس ضغط سائل قابل للتجمد أوغاز خامل به قدر من الرطوبة قابل للتكثف ، فى أماكن باردة أو فى الخلاء حيث تنخفض درجة الحرارة حتى التجمد فإنه يكون من الضرورى وقاية المقاييس والأنابيب من التجمد .

٩ – وقاية المقياس من التحميل الزائد :

يراعى عدم استخدام الجهاز لقياس ضغوط تزيد على مداه إلا إذا كان مزوداً بما يقيه من التلف . وحتى لو استخدم الجهاز فى قياس ضغوط تزيد على مداه وكان مزوداً بما يقيه فإنه قد يحدث للعنصر الحساس أو إحدى الوصلات تشوه دائم وفى هذه الحالة يحتاج الجهاز إلى إعادة المعايرة .

١٠ – قياس ضغط غاز وهواء وسائل :

عند تركيب خطوط أنابيب مقياس الضغط لقياس ضغط هواء وغاز يجب اتخاذ إجراءات التصريف والتنفيس لأى متكثف (انظر الشكل رقم ٦٠) ولاحظ كيفية توصيل خطوط المقياس بالخط الرئيسى أو الخزان .



الشكل رقم (٦٠)

تركيب مقياس الضغط عند وضعه أسفل المنبع .

(١) مقياس الضغط .

(٢) وصلة شكل T وصمام .

(٣) محبس .

(٤) خط المقياس مائل لتنفيس الغازات .

(٥) المنبع .

ملاحظة : يراعى دائماً توصيل الخط بأدنى نقطة بالمنبع أو الخزان وذلك حتى تظل الخط مملوءاً بالمكثف .

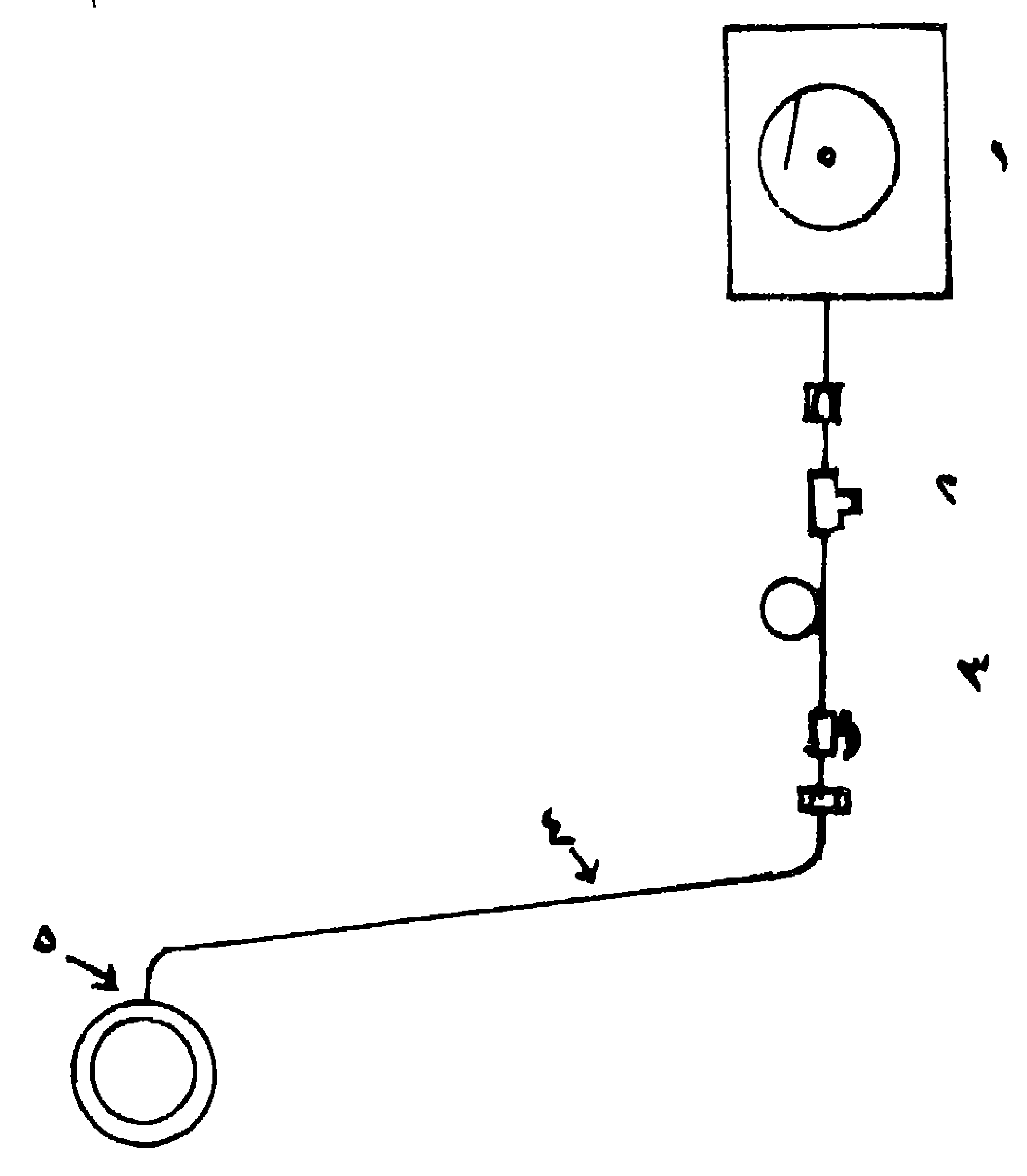
١١ – قياس ضغط غازات ساخنة (أو بخار ماء) قابلة للتكثف :

يجب بصفة عامة ألا تزيد درجة حرارة الموائع الداخلة إلى مقاييس الضغط على ٦٥°م .

ا – المقياس فى مستوى أسفل من مستوى التوصيلة : يجب فى هذه الحالة ملاحظة أن خط الضغط الموصل إلى المقياس سوف يمتلئ ببخار ماء متكثف ، ومعنى ذلك أن

بيان المقياس عبارة عن مجموع ضغط البخار ، وعمود ماء إرتفاعه مساو لارتفاع التوصيلة عن المقياس ، ولهذا يجب عمل تصحيح لقراءة المقياس يساوى عمود الماء المشار إليه . ويفضل ملء الخطوط بالماء لضمان عدم حدوث تسخين زائد قبل تكون القدر الكافى من بخار الماء المتكثف .

وإذا كان المقياس فى مستوى أعلى من مستوى التوصيلة الشكل رقم (٦١) عند



الشكل رقم (٦١)

تركيب المقياس عند وضعه أعلى من المنبع .
(١) مقياس ضغط .
(٢) وصلة شكل T وصمام .
(٣) محبس برافعة ما خلفه .
(٤) خط المقياس مائل لتصريف المنكثف ناحية المنبع .
(٥) منبع .

تركيب مقياس الضغط أعلى من خط البخار فيجب تركيب مانع للتسرب على شكل ملف أنبوبى فى الخط ويجب صب ماء كاف عن طريق صمام الملء بحيث يمتلىء الملف قبل السماح للبخار بالمرور إلى الأنابيب ويراعى أن يكون قطر الأنابيب مناسباً (أكبر من ١٣ مم) ويراعى أيضاً تجنب وجود نقط منخفضة فى الخط بالدرجة التى قد تشكل معها مصيدة لبخار متكثف فتخلق خطأ فى عمود الماء المأخوذ فى الإعتبار عند تصحيح القراءات .

١٢ – يجب تركيب محبس ذى اتجاهين على خط الأنابيب قبل المقياس مباشرة وهذا يجعل من الممكن إخراج المقياس لإستبداله أواختباره دون حاجة لإغلاق المجموعة .

١٣ – إذا كان مقياس الضغط يحتوى على أجزاء كهربائية ، وكان القياس يجرى فى وسط قد توجد به غازات قابلة للتفجر فى أى وقت ، فإنه يجب تطهير المقياس من الهواء . ويتم ذلك بإدخال تيار مستمر من الهواء النظيف بحيث يكون الضغط داخل علبة المقياس أكبر قليلاً من الضغط المحيط ، وهذا يمنع دخول العناصر المؤكسدة أو المتفجرة .

١٤– مقاييس الضغط والتفريغ :

يجب عدم السماح لوسيط الضغط المسبب للصدأ أو الذى يتجمد ، بالدخول فى خط أنابيب المقياس أو فى المقياس ذاته عند إزالة التفريغ والتأثير بالضغط .

٥ / ١٠ معايرة أجهزة قياس الضغط :

تعاير أجهزة قياس الضغط بالمقارنة مع مانومتر سائلى دقيق أو بواسطة جهاز اختبار الضغط ذى الحمل المباشر ، ويستخدم المانومتر السائلى بصفة خاصة للضغوط المنخفضة . أما جهاز اختبار الضغط ذو الحمل المباشر فهو يستخدم فى معايرة أجهزة القياس ذات المدى الأعلى مما يمكن معايرته بواسطة المانومتر السائلى .

الباب السادس

قياس تدفق الغازات والسوائل

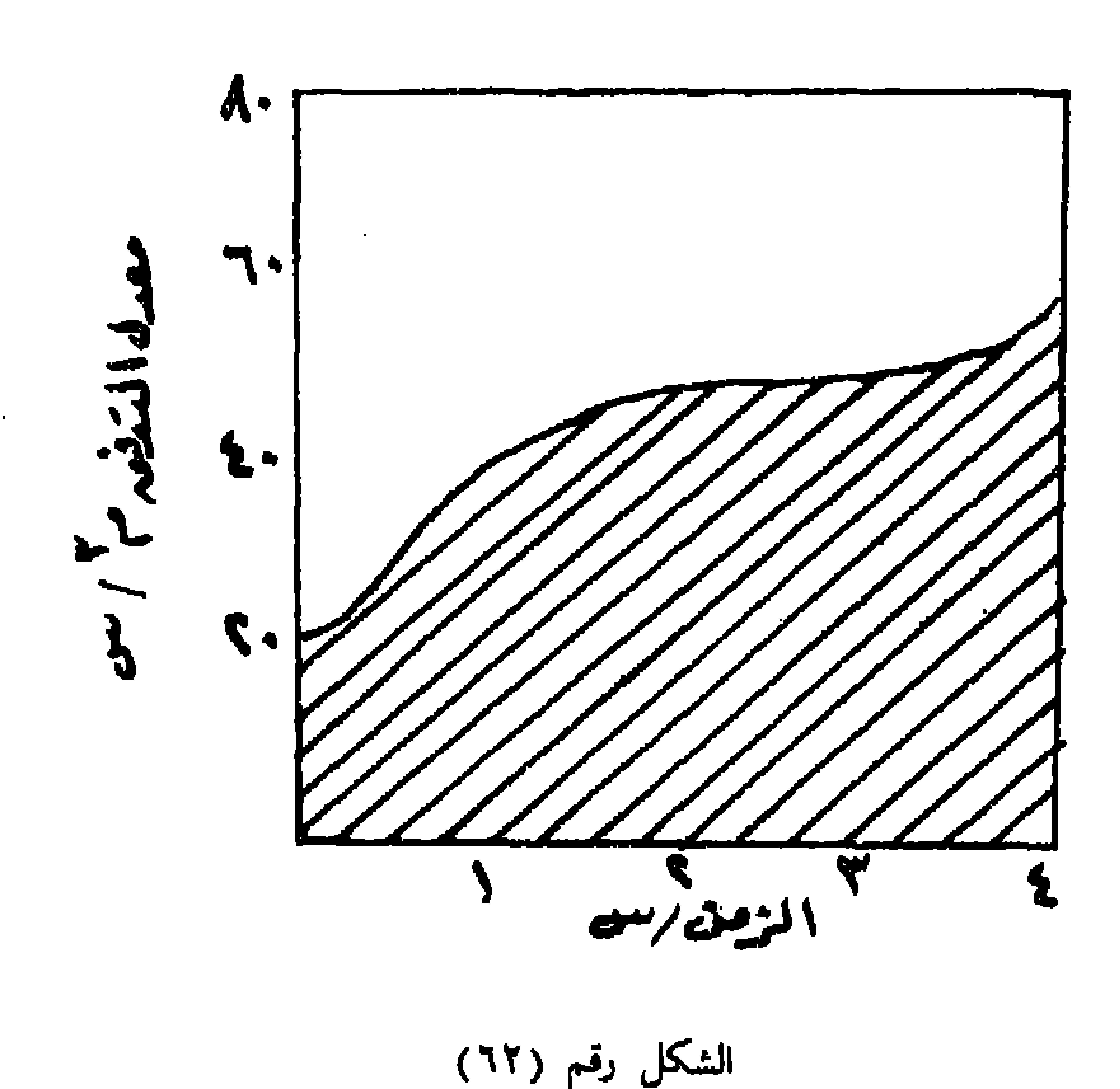
تمثل قياسات تدفق الغازات والسوائل نسبة مئوية كبيرة من القياسات التى تجرى فى الصناعات الكمائية ، بل ربما أمكننا أن نقول إنها أكثر أنواع القياسات أهمية فى مجال الصناعات الكيميائية ، فلولا قياسات التدفق لكان خلط المواد بالنسبة المحددة لها وضبط الجودة والإنتاج المستمر . . . إلخ من الأمور المستحيلة تقريباً .

وتوجد طرق كثيرة دقيقة يمكن الاعتماد عليها فى قياس التدفق ، ومنها ما يناسب السوائل فقط ومنها أيضاً ما يناسب الأبخرة والغازات ، وبعض الطرق تناسب السوائل والغازات والأبخرة . والسوائل التى يتم قياس تدفقها قد تكون رائقة أو معتمة ، نظيفة أو قذرة ، رطبة أو جافة ، مؤكسدة أو غير مؤكسدة . والتدفق قد يكون مضطرباً به دوامات أو هادئاً ينساب فى طبقات ، والمائع تتفاوت لزوجته وضغطه ودرجة حرارته . وثمة متغير آخر هو معدل التدفق الذى قد يتراوح بين بضع قطرات فى الدقيقة الواحدة إلى آلاف اللترات فى الدقيقة .

وقد أدى هذا التنوع الكبير فى خواص الموائع وتدفقها ومعدلاتها إلى استنباط طرق وأجهزة قياس كثيرة كل منها تناسب حالة أو حالات بعينها ، ويمكن تقسيم أجهزة القياس إلى قسمين رئيسيين هما :

– عدادات الحجم أو الكتلة وهى العدادات التى تعطى الكمية الكلية التى تتدفق فى زمن معين ويمكن الحصول على متوسط معدل التدفق بقسمة قيمة الكمية الناتجة على الزمن الذى تدفقت فيه .

– عدادات معدل التدفق وهى تعطى معدل التدفق الفعلى ويمكن الحصول على الكمية الكلية المتدفقة بتجميع أو تكامل الكميات المتدفقة فى فترات زمنية صغيرة. ويمكن الحصول على الكمية الكلية للتدفق عن طريق المنحنى الناتج من رسم قيم معدلات التدفق مع الزمن وتحسب المساحة الواقعة تحت المنحنى الناتج كما فى الشكل رقم (٦٢).



الشكل رقم (٦٢)

٦/١ عدادات الحجم والكتلة :

كما يتضح من نسمية هذه العدادات فإنها تشمل نوعين من العدادات أحدهما للكتلة والثانى للحجم ويتم الحصول على الكتلة فى النوع الأول بالوزن وفى النوع الثانى تعطى العدادات حجم المائع المتدفق ، وتصنف طبقاً للمائع إلى عدادات حجوم السوائل مثل

الخزان البسيط أو عدادات الإزاحة ، وعدادات حجوم الغازات مثل عداد الغاز ذى المنفاخ والعداد ذى الدفاعة الدوارة

٦ / ١ / ١ عداد الكتلة :

يتم تشغيل هذه العدادات بواسطة وزن السائل ، ويوجد نوع من هذه العدادات يكون فيه الوعاء معداً بحيث إنه إذا بلغ السائل الذى يحتويه ارتفاعاً محدداً من قبل فإنه (أى الوعاء) ينقلب ويفرغ ما به . وأيضاً فإن هذا الإناء ينقلب عندما يصل مركز الثقل ارتفاعاً معيناً محدداً سلفاً فإن معايرته تعتمد على كثافة المائع المقيس وبالتالى فإنها تتأثر بتغير درجة الحرارة لأنها تؤثر على كثافة كل من الوعاء والسائل . غير أن هذا التأثير يكون صغيراً بصفة عامة ، ويسجل عدد مرات انقلاب الوعاء بعداد ويكون ذلك مقياساً للوزن الكلى الذى ندفق .

ويوجد نوع آخر من العدادات يتم فيه نعليق الوعاء فى عاتق ميزان ذى ثقل موازنة .

٦ / ١ / ٢ عدادات حجوم السوائل :

٦ / ١ / ٢ / ١ العداد ذو الخزان :

يتكون العداد فى أبسط صورة من خزان واحد يملأ ثم يفرغ تبادلياً ويسمح للخزان بالامتلاء حتى يصل السائل إلى قمة سيفون حيث يتدفق . ويسجل عدد مرات التفريغ بواسطة آلية مشغلة بعوامة .

وعندما يستخدم خزانان يملأ أحدهما حتى إذا وصل مستوى السائل فيه إلى قيمة محددة سلفاً فإن الآلية المشغلة بواسطة عوامة تقوم بمنع التدفق إلى هذا الخزان وتوجهها إلى الخزان الثانى ، وفى نفس الوقت يفتح صمام فى أسفل الخزان الأول فيسمح للسائل بالتدفق إلى خارجه . . وهكذا يمتلئ أحد الخزانين بينما يفرغ الآخر وتسجل آلية تعمل بعوامة عدد مرات الملء ويكون ذلك مقياساً للتدفق .

٦ / ١ / ٢ / ٢ عدادات الإزاحة الموجبة :

تستخدم عدادات الإزاحة كثيراً فى التطبيقات التى لها دقة عالية وتكرارية جيدة ، ولا تعتمد دقتها على أية نبضات تحدث فى تدفقه ، كما أنه يوفر إمكانية القياس بدقة للسوائل العالية اللزوجة وبدرجة أفضل مما تتيحه عدادات التدفق الأخرى ، لذلك فإن هذه العدادات تستخدم كثيراً كأساس لحساب قيم كميات البترول أو الماء . كما تستخدم فى العمليات الصناعية التى تشمل إدخال كميات معينة بعدها يقطع التدفق تلقائياً .

ومبدأ القياس فى عداد الإزاحة هو أن السائل عند تدفقه عبر العداد فإنه يحرك عنصر القياس الذى يغلق حجرة القياس ويقسمها إلى مجموعة من حجيرات القياس التى تحوى كل منها حجماً محدداً ، وبتحرك عنصر القياس فإن حجيرات القياس تمتلئ ثم تفرغ الواحدة تلو الأخرى ، ومع كل دورة كاملة لعنصر القياس يسمح لقدر معين من السائل بالمرور من مدخل العداد إلى مخرجه . ويتكون مانع التسرب بين عنصر القياس وحجرة القياس من غشاء من السائل المقيس ذاته . ويوجد بالعداد مؤشر يتحرك على قرص مدرج أو وسيلة بيان أخرى تبين عدد دورات عنصر القياس ، ويستمد المؤشر الطاقة اللازمة له من حركة عنصر القياس عن طريق مجموعة مسننات (تروس) منضبطة . ويتم ضبط نسبة تعشيق المسننات أثناء المعايرة بحيث يصير الفرق بين الكمية الحقيقية وتلك المبينة بواسطة العداد أقل ما يمكن على كامل السعة المقننة للعداد . وينتج الفرق بين الكمية الحقيقية والمبينة عن التسرب خلال الخلوص الميكانيكى للأجزاء المتحركة ويعتمد هذا التسرب على عوامل كثيرة منها حجم الخلوص بين عنصر القياس وحجرة القياس ، ويمكن تقليل التسرب الناتج عن هذا الخلوص بتضييق تفاوتات التصنيع ، وأيضاً فإن التغييرات فى درجة الحرارة تزيد حجم الخلوص بين عنصر القياس وحجرة القياس بالإضافة إلى تغيير مقاس حجيرات القياس ، ويمكن تقليل تأثير تغييرات درجة الحرارة بحيث يمكن إهمالها بالتصميم الجيد للعداد . وبالإضافة إلى ما سبق من عوامل مسئولة عن التسرب فإن زيادة لزوجة السائل المقيس تؤدى إلى زيادة الفقد فى الضغط

عبر عنصر القياس ، غير أن هذا يعوض وزيادة بواسطة الخفض فى التدفق من الخلوص عند انخفاض معين للضغط .

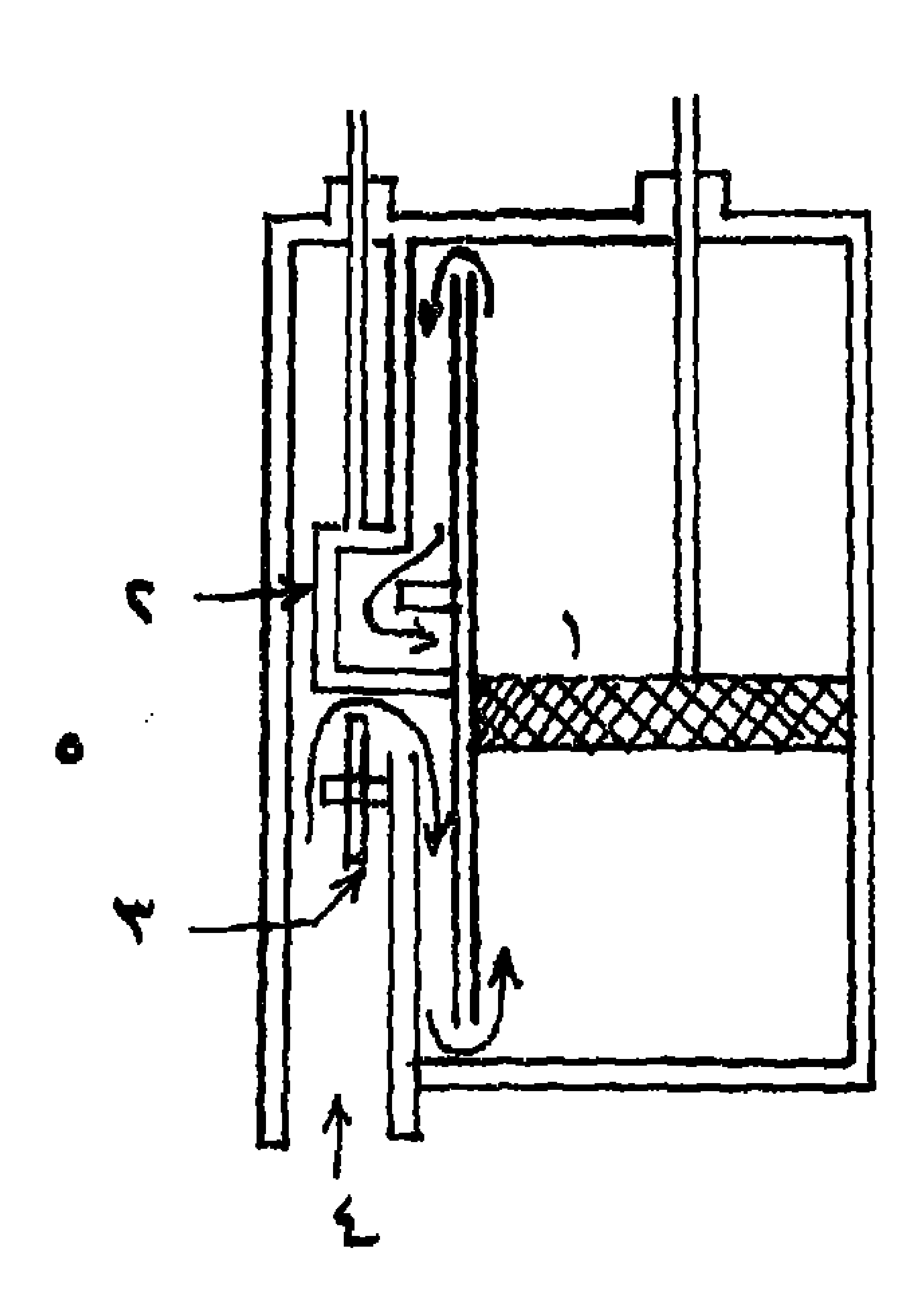
ويجدر بنا أن نلاحظ أن الأخطاء الرئيسية فى عدادات الإزاحة الموجبة تنتج عن فروق فى درجة الحرارة والكثافة واللزوجة للسائل فى ظرف التشغيل عن القيم المناظرة لها عند المعايرة ، لذلك فإنه من الممارسات العملية أن يتم معايرة العدادات فى مواقع استخدامها بواسطة معاير العدادات . وقد يكون المعاير عبارة عن خزان بسيط سبق معايرته بالمقارنة مع مقياس أمامى دقته حوالى + ٠,٠٤ ٪ ، وحجم هذا الخزان يمكن تحديده بدقة + ٠,١ ٪ . ويوجد نوع آخر من معايرات العدادات عبارة عن أنبوبة معايرة ذات طول محدد ومقطع منتظم متجانس مركب عليها كشافان بينهما مسافة معينة . ويوجد مكبس على شكل كرة متوافقة بإحكام مع الأنبوبة يتم دفعها بالسائل المتدفق من الكشاف إلى الآخر وهى فى أثناء ذلك تزيح حجماً معيناً ومعلوماً من السائل ، وقد وضع المكشافان بحيث تكون المسافة بينهما كافية لتعطى الدقة المطلوبة وبعض صانعى هذه المعايرات يدعى لها دقة + ٠,٠٢ ٪ .

وبطبيعة الحال فإن دقة العداد لا يمكن أن تكون أفضل من دقة المعايرة ، غير أنه عندما تستخدم معدات معايرات دقيقة فإنه يمكن معايرة العداد بالسائل الحقيقى وبنفس معدل التدفق الذى ستجرى به القياسات بعد ذلك ويجرى الضبط اللازم للمحافظة على دقة القياس .

وقد أثبتت الخبرة المكتسبة فى مجال صناعة البترول أن القياس بواسطة عداد من تصميم جيد وتم معايرته وصيانته من آن لآخر يكون أدق بكثير من قياس الكمية بواسطة طريقة قياس المستوى فى خزانات معايرة .

وتتفاوت دقة القياس بعداد الإزاحة من تصميم إلى آخر وتبعاً لظروف وطبيعة السائل المقيس ومعدل تدفقه . ويجب بذل مزيد من العناية فى اختيار العداد المناسب لنوع القياس المطلوب . وتشمل عدادات الإزاحة أنواعاً كثيرة ، وفيما يلى أكثرها شيوعاً :

المكبس الترددى – المكبس المتذبذب (المكبس الدوار) – القرص المترنح – الدوار الحلزونى المخدد – الريشة المنزلقة – الريشة المترددة – المسننات البيضاوية . ويبين الشكل رقم (٦٣) العداد ذا المكبس الترددى .



الشكل رقم (٦٣)

عداد التدفق ذو المكبس الترودى .
(١) مكبس .
(٢) صمام تزلق .
(٣) دليل .
(٤) تدخل المائع .
(٥) مخرج المائع .

وهذا العداد يشبه كثيراً ، من حيث التركيب ، المكبس والإسطوانة فى ماكينة البخار ، فيدخل المائع المطلوب قياس ضغطه الجانب السفلى مثلاً لجسم العداد فيحرك المكبس إلى أعلى ، وينصرف الماء الموجود أعلاه من خلال ماسورة المخرج . وعندما يصل المكبس إلى أقصى وضع فى مشواره تفصل قمة الأسطوانة عن جانب المخرج وتفتح لدخول الماء . وفى نفس الوقت يفتح قاع الأسطوانة إلى جانب المخرج ولكنه يكون مقطوعاً عن ماء المدخل . ويؤدى ضغط الماء الداخل إلى تحريك المكبس إلى أسفل حيث ينصرف الماء من أسفله إلى أنبوبة التصريف . وعندما يصل المكبس إلى أدنى وضع فى مشواره فإن الصمام يعمل مرة ثانية وتتكرر الدورة . وتقوم الذراع الخارجية التى تسبب حركة الصمام المنزلق فى الوقت ذاته بإدارة عداد يعطى مجموع كمية المائع التى مرت من خلال العداد .

توجد عدادات تشتمل على أكثر من أسطوانة واحدة ومنها نوع يشتمل على أربع أسطوانات مرتبة تعامدياً بحيث يكون محور أى منها عمودياً على محور المجاورة لها . وتوصل هذه الأسطوانات بالتبادل بواسطة صمام دوار على فتحتى المدخل والمخرج وتستخدم الحركة الترددية للمكابس فى تشغيل عداد يعطى إجمالى كمية المائع التى تدفقت عبر العداد .

٦ / ٢ عدادات معدل التدفق :

إذا كان مقطع ماسورة هو ١ متراً مربعاً وسرعة السائل بها منتظمة على مقطعها وقيمتها ع م / ث فإن ا ع متراً مكعباً هو حجم السائل الذى يتدفق فيها فى الثانية الواحدة . وفى الحقيقة فإن السرعة لا تكون منتظمة على مقطع الأنبوبة وإنما تكون أكبر عند مركز هذا المقطع وأقل عند نقاط تلامس السائل بالماسورة . وإذا أمكننا قياس سرعة ترتبط بعلاقة ثابتة مع السرعة المتوسطة على المقطع فإن الحجم المتدفق يكون مساوياً لناتج ث × أ × ع م ٣ / ث حيث ث ثابت الماسورة ويمثل العلاقة بين المتوسط

الحقيقى للسرعة والسرعة المقيسة . ويلاحظ أن هذا الثابت يعتمد على شكل المقطع ، ويمكن تعيينه بالتجربة لأى مقطع معين . وتعمل عدادات معدل التدفق على هذا المبدأ لقياس سرعة السائل عبر العداد . وتنقسم عدادات معدل التعدل ، حسب نوع المائع المقيس ، إلى عدادات معدل التدفق للسوائل وتشمل عدادات الريشة المنحرفة وعدادات الريشة الدوارة وعدادات الريشة الحلزونة والعدادات التوربينية والعدادات التوافقية والعدادات المغناطيسية وعدادات التدفق فوق السمعى . والقسم الثانى عدادات معدل التدفق للغازات فتشمل عدادات الريشة الحارفة وعدادات الريشة الدوارة والعدادات الحرارية .

٦ / ٢ / ١ عدادات معدل التدفق للسوائل :

٦ / ٢ / ١ / ١ عداد الريشة الدوارة :

يتكون هذا العداد من عدد من الأجنحة مرتبة حول محيط قرص أو مجرد موصلة قطرياً على مسافات حول محور دوران بحيث يكون جناح واحد على الأقل فى تيار السائل وسوف تؤدى القوى الناتجة على هذه الأجنحة إلى دورانها باستمرار ويكون معدل الدوران مقياساً لسرعة السائل فى العداد . وهذه السرعة هى الأخرى مقياس لكمية السائل الكلية التى تدفقت عبر العداد . ويتم تنظيم العداد بتحريك عارضة منضبطة تؤثر على السحب الواقع على الريشة الدوارة . ويقاس كل من التدفق الأمامى والخلفى وتسجل محصلة التدفق على قرص مدرج . ويمكن أن يكون العنصر الثانوى أو المؤشر فى العداد إما عداد دورات بسيط يعطى قراءة مباشرة أو قد يشتمل على عدد من الأقراص المدرجة .

ويصنع العداد من مادة مقاومة للصدأ ، وعندما يستخدم لقياس الماء تكون جميع أجزائه العاملة من النيكل وتصنع الريش الدوارة من بلاستيك خاص . ويوجد فى الأسواق تصميان لهذا العداد ، أحدهما للاستخدام فى المواسير الأفقية والآخر للمواسير

الرأسية ويصلح التصميم الأخير للتدفق الصاعد أو الهابط . ولقياس معدلات تدفق كبيرة فى المجارى المغلقة فإنه يتم استبدال المروحة ذات الريش الدوارة بمروحة حلزونية مركبة مركزياً فى جسم العداد ويكون محورها فى اتجاه التدفق . وتتكون المروحة من أسطوانة جوفاء عليها أجنحة مشكلة بدقة .

٦ / ٣ قياس التدفق بواسطة قياس الضغط الفرق :

تعتبر طرق قياس معدلات التدفق بواسطة قياس الضغط الفرق من أقدم الطرق التى لا تزال مستخدمة بالصناعة حتى الآن . وهى تمتاز على جميع الطرق الأخرى بالبساطة والدقة وقلة التكاليف . وقد يمكن القول إن عدادات التدفق التى تعتمد فى قياسها على قياس الضغط الفرق هى أكثر أنواع العدادات انتشاراً واستخداماً . وتعتمد هذه العدادات فى قياسها على أساس أنه عندما يدخل اختناق فى مجرى التيار فإن سرعة السائل أو الغاز المتدفق ، وبالتالى طاقته الحركية ، تزداد وحيث إن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى ، فإن الزيادة فى الطاقة الحركية تكون على حساب طاقة الضغط ، أى أن الضغط يقل عبر الاختناق ، ويكون هناك ما يسمى بالضغط الفرق الذى يمكن قياسه ، ومنه يتم حساب سرعة تيار المائع .

وإذا كانت ت ح تمثل معدل التدفق الحجمى للمائع ، ث كثافته ، م مساحة مقطع الماسورة أو الأنبوبة التى يتدفق بها المائع ، ض الضغط الفرق عبر الاختناق الموضوع فى مجرى هذا التيار ، فإنه يمكن إثبات العلاقة التالية باستخدام نظرية «برنولى» :

ت = ك م $\sqrt{\frac{\text{ض}}{\text{ث}}}$ حيث ك ثابت .

وهذه العلاقة تستخدم فى حساب ت ح .

ويمكن إذا تم تثبيت مساحة مجرى التدفق قياس التدفق بواسطة قياس علو الضغط ، ويمكن أيضاً المحافظة على معدل تدفق ثابت بتثبيت قيمتى المساحة وعلو الضغط .

ويمكن أيضاً تثبيت علو الضغط وقياس المساحة اللازمة للمحافظة على التدفق

ثابتاً ، وأخيراً يمكن السماح بتغيير كل من علو الضغط والمساحة كما فى حالة المجرى المفتوح وبقياس الاثنين يمكن الحصول على التدفق . لذلك يمكن توصيف طرق الضغط الفرقى لقياس التدفق تحت العناوين التالية :

أولاً : طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط المتغير :

ويتم تثبيت المساحة بإدخال أحد العناصر التالية والتى تشمل العناصر الرئيسية فى خطوط أو أنابيب التدفق :

(ا) أنبوبة « بيتوت » الساكنة .

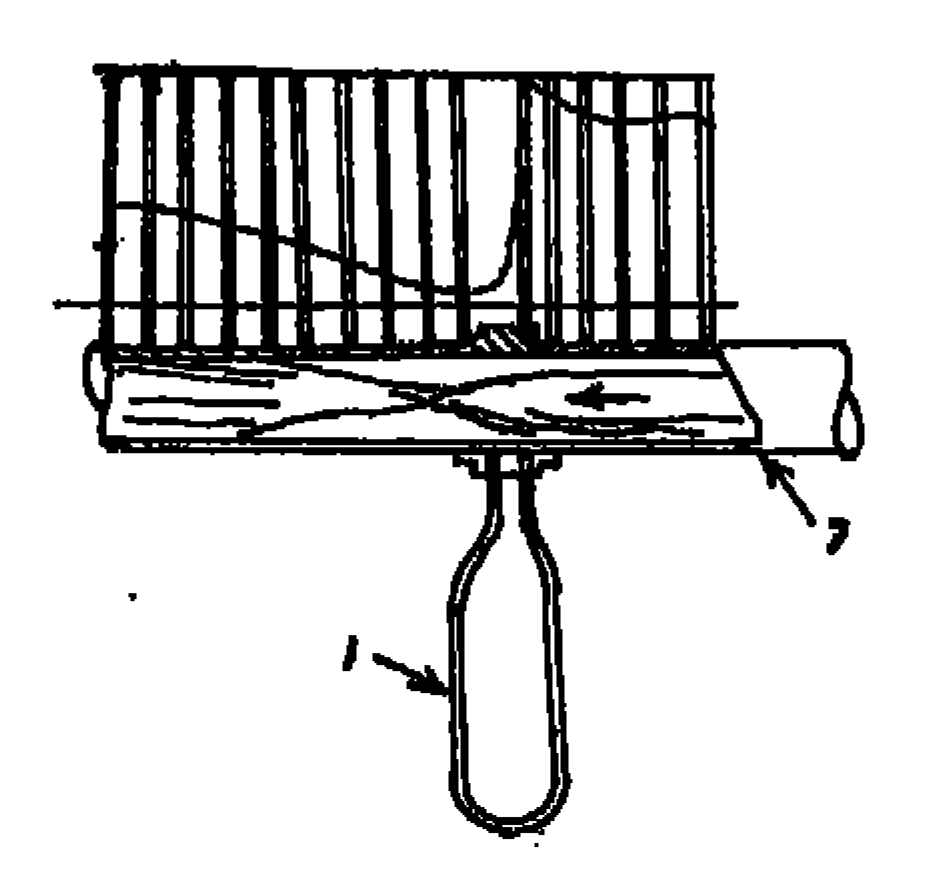
(ب) أنبوبة « فنتورى » ، وفوهة التدفق .

(حـ) أنبوبة « بيتوت — فنتورى » .

(د) أنبوبة « دول » .

(هـ) اللوح ذو الفتحة .

وينشأ نتيجة لإدخال أحد العناصر الرئيسية ضغط فرقى بالشكل رقم (٦٤) يتم قياسه بواسطة إحدى الوسائل الثانوية لقياس الضغط مثل المانومترات أو المنافيخ . . إلخ التى سبق ذكرها فى الباب الخامس .



الشكل رقم (٦٤)

التدفق عند اختناق يؤدى إلى تشوه فرق ضغط يتناسب مع حول التدفق .

(١) مانومتر زئبق .

(٢) أنبوبة يتدفق بها السائل .

(٣) ١٧ أنابيب زجاجية من الضغط الإستاتيكى ويلاحظ أن أدنى قيمته السابقة للاختناق .

وتتشابه جميع العناصر الرئيسية السابقة فيما يلى :

١ – إن كلا منها يحتاج إلى جهاز لقياس الضغط الفرق .

٢ – إن كلا منها يحتاج إلى ذات التجهيزات من الأنابيب وأيضاً نفس الاحتياطات .

٣ – ينتج عن كل منها انخفاض فى الضغط فى الخط أو الأنبوبة .

وفى الوقت ذاته توجد بينها فروق كالتالى :

١ – الانخفاض فى الضغط فى حالة اللوح ذو الفتحة أشد عنه فى حالتى الفوهة أو أنبوبة « فنتورى » .

٢ – تكون استعادة الضغط أقل ما يمكن بالنسبة للوح ذى الفتحة .

٣ – أنبوبة « فنتورى » أكثرها تكلفة بينما اللوح ذو الفتحة أقلها تكلفة .

٤ – اللوح ذو الفتحة أسهل فى التصنيع عن الوسائل الأخرى .

٥ – يملأ تيار التدفق فتحات الفنتورى والفوهة ، ولكنه يتقلص عند مروره بفتحة اللوح حيث تصل نسبة الخفض فيه إلى حوالى ٤٠ ٪ .

٦ – معامل التدفق للفنتورى والفوهة يظل ثابتاً تقريباً فى مدى تشغيلها ولكن معامل التدفق لفتحة اللوح يتغير قليلاً .

٧ – تتأثر « الفنتورى » قليلاً بوجود مواد صلبة فى المائع المتدفق ، ويمكن للفوهة تحمل تركيزات ضئيلة من المواد الغريبة ولكن الفتحة تتأثر خصائصها بشدة بتجمع المواد الصلبة أمامها .

ثانياً : طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط الثابت :

ثالثاً : طرق المساحة المتغيرة وعلو الضغط الثابت ويندرج تحتها العدادات التالية :

العداد ذو البوابة ، العداد ذو الفتحة ، العداد ذو الأنبوبة المستدقة والعوامة .

رابعاً : طرق المساحة المتغيرة وعلو الضغط المتغير ويندرج تحتها :

قناطر الاحتجاز – القنوات .

خامساً : العدادات ذات الهدف :

سادساً : المجملات الميكانيكية :

المجملات الكهربائية .

المجملات البنبوماتية .

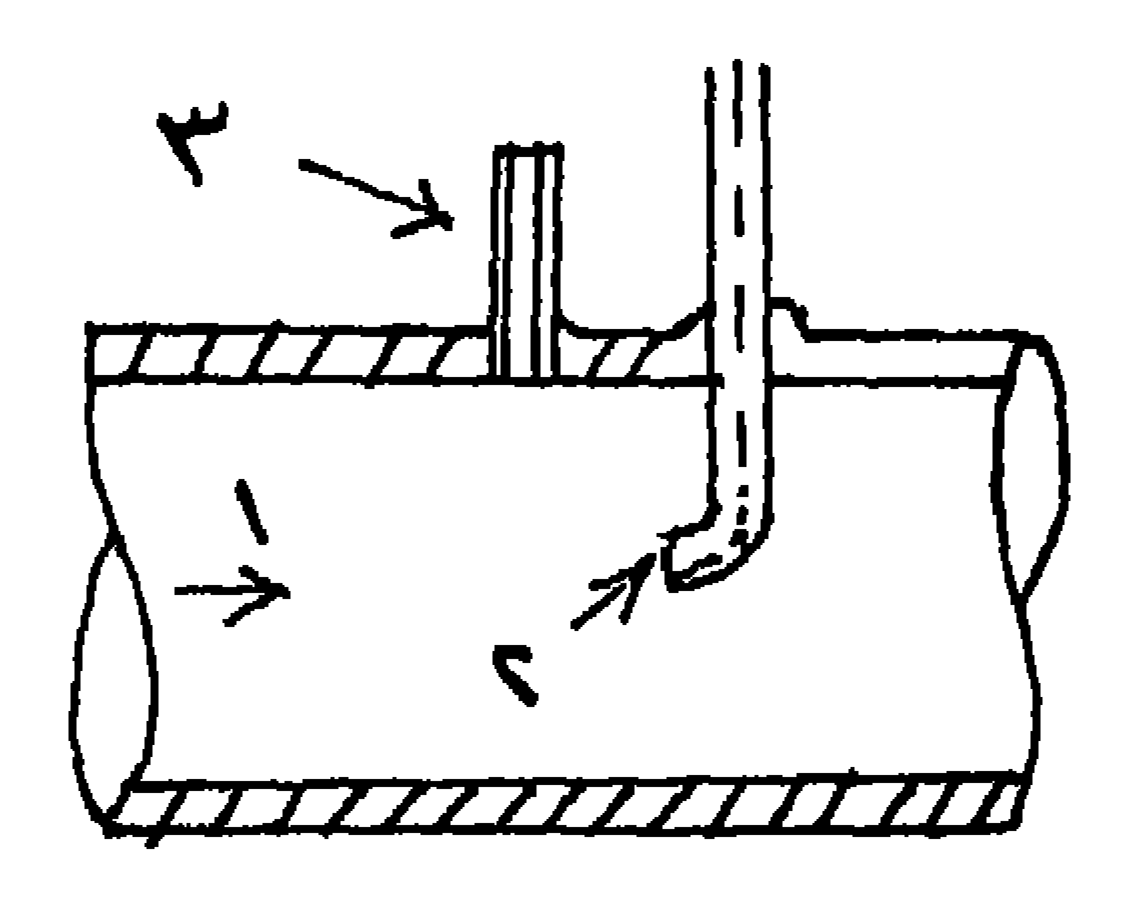
٦ / ٣ / ١ طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط للتغير :

ذكرنا فيما سبق أن العناصر الرئيسية المستخدمة فى طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط المتغير تشمل أنابيب « بيتوت » و « فنتورى » و « دول » والألواح ذات الفتحات ، ونتناول فيما يلى أهم هذه العناصر وهى أنابيب « بيتوت » و « فنتورى » والألواح ذات الفوهات :

(١) أنبوبة « بيتوت » الساكنة : الشكل رقم (٦٥) ، وتستخدم كثيراً لقياس سرعة المائع عند نقطة واحدة داخل ماسورة ، كما تستخدم فى قياس سرعة الطائرات بالنسبة للهواء ويتم القياس بوضع فتحة الصدم مباشرة فى خط التدفق والفتحة الساكنة عموديًّا على فتحة الصدم ويكون الضغط الفرقى بين النتيجتين متناسباً مع السرعة . ويحسب معدل كمية التدفق من النسبة بين متوسط السرعة إلى السرعة عند نقطة القياس . ويجب اتخاذ عدد من الاحتياطات عند استعمال أنابيب « بيتوت » منها ما يلى :

– أن يكون محور أنبوبة بيتوت موازياً لمحور الماسورة وألا تتعرض الأنبوبة لأية اهتزازات .

– أن يكون المائع إما غازاً أو سائلاً فقط وأن تكون سرعة التدفق ما بين ٣ م ٪ ث ، ٣٠ م / ث للغازات أو الأبخرة وما بين ٠,١ م / ث ، ٢,٤ م / ث للسوائل .



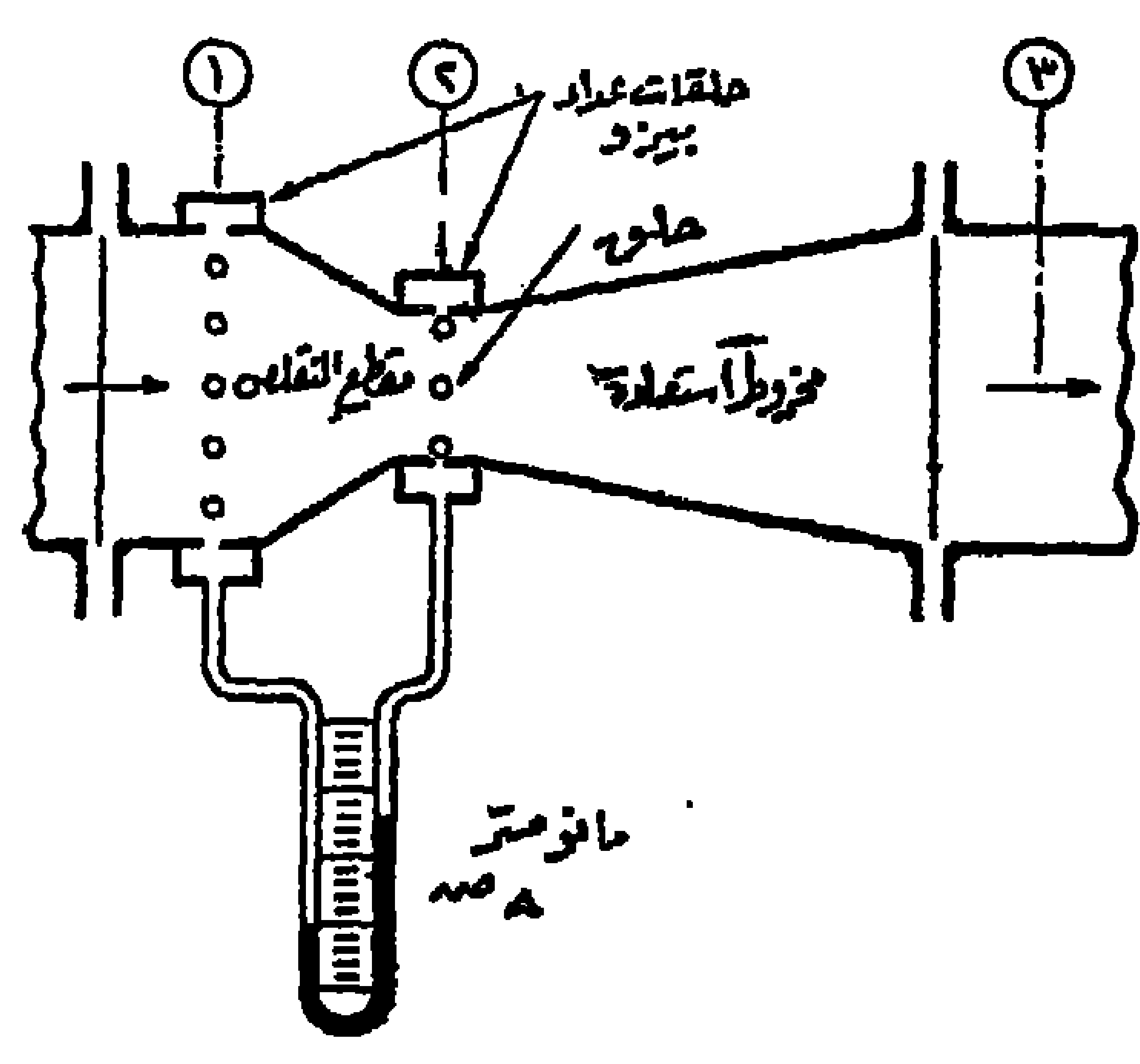
الشكل رقم (٦٥)

أنبوبة (بيتوت) ذات الفتحة الواحدة .

(١) إتجاه التدفق .

(٢) فتحة الصدم .

(٣) مأخذ الضغط الإستاتيكى «الساكن» .



شكل (٦٦)

أنبوبة فنورى .

(١) قطع متقارب .

(٢) الرقبة .

(٣) مخروط إستعادة .

الشكل رقم (٦٧)

لوح ذو فتحة حادة .

– أن تكون الماسورة خالية من الحواجز ومستقيمة على الأقل على طول قدره ٢٠ ق (ق = قطر الماسورة ذاتها) قبل مستوى القياس إلا إذا استعمل مقوم للتدفق (الانسياب)

– ألا يتعدى قطر رأس أنبوبة بيتوت الساكنة $\frac{١}{٢٥}$ من قطر القناة ذات القطر الثابت فى حدود + ٠,٥ ٪ .

– ألا تزيد زاوية التدويم على + ٥° من اتجاه محور الماسورة ويشترط عدم وجود أية تقلبات ملموسة فى الضغط .

– يجب أن تكون الأنبوبة خالية ، على طول مساو لنصف قطرها على كلا جانبى مستوى القياس ، من أية تغييرات فجائية لقطرها أو أية بروزات ، ويجب ألا تقل المسافة بين أنبوبة «بيتوت» الساكنة والجدار عن ثلاثة أرباع قطر الأنبوبة . وتتلخص مزايا أنبوبة «بيتوت» الساكنة فى التالى :

– لا تؤدى إلى فقد ملموس فى ضغط المنبع أو الخط الرئيسى إلا إذا كانت كبيرة بالمقارنة مع المنبع ، كما أنه يمكن إدخالها فى فتحة صغيرة نسبية فى الخط الرئيسى دون حاجة لإغلاقه ، لهذا فإنها مفيدة جداً لتقدير التدفق فى منبع حتى يمكن تركيب أداة دائمة لقياس التدفق مثل النوع ذى الفتحة .

– يمكن استخدامها لإيجاد توزيع السرعات فى خط رئيسى أو مصرف غاز كما هو الحال عندما يكون المطلوب تحديد المكان الذى توضع به أنبوبة العينات فى مصرف غاز بهدف تحليل الغازات فى العادم .

– قليلة التكاليف .

أما عيوب أنبوبة «بيتوت» فتنحصر فى أنه إذا لم تتخذ احتياطات واسعة لما أمكن الحصول على دقة عالية فضلاً عن أن الضغط الفرقى الناتج وبصفة خاصة فى حالة قياس التدفق للغازات يكون صغيراً وبسبب هذا العيب فقد تم صناعة نوع معدل من أنبوبة «بيتوت» مثل أنبوبة «بيتوت – فنتورى» .

٢ – أنابيب «فنتورى» :

تتكون أنبوبة فنتورى من مدخل ذى مقطع متقلص ، رقبة أسطوانية ومخروط استعادة متفرق (الشكل رقم ٦٦) . وتزداد سرعة المائع فى المدخل بينما يقل علو الضغط . وفى قطاع الرقبة يظل معدل التدفق ساكناً لأنه لا يوجد أى تغير فى المقطع العرضى ويقل هذا المعدل فى قطاع الاستعادة . ويستعاد النقص فى علو السرعة بزيادة فى الضغط . وتؤدى الإستعادة النسبية الكبيرة عند هذه النقطة إلى فقد دائم فى حدود ١٠ – ٢٠ ٪ فقط من الضغط الفرقى عبر الأنبوبة ويقل هذا الفقد بزيادة قطر رقبة أنبوبة الفنتورى . وتتميز أنبوبة «فنتورى» بعدد من الميزات أهمها أن الفقد الكلى فى الضغط أقل من الفقد بالنسبة للفوهات والأقراص ذات الفتحات . وهذه الميزة تظهر فائدتها جلية فى الحالة التى يكون فيها علو الضغط المتاح صغيراً . وتستخدم أنبوبة «فنتورى» لقياس التدفق للسوائل القذرة والتى يوجد بها مواد صلبة عالقة . وتتمثل العيوب الرئيسية للأنبوبة فى ارتفاع تكاليفها الأصلية . وعدم إمكان تركيبها فى خط أنابيب موجود بالفعل . وعندما تركب فى إحدى التجهيزات فإنه يستحيل تغيير مدى التدفق بهذه التجهيزات إلا إذا عدل جهاز قياس الضغط الفرقى أو استبدلت أنبوبة «فنتورى» بأخرى مناسبة .

ويلزم عند تركيب واستعمال أنبوبة «فنتورى» التأكد مما يلى :

– أن مدخل أنبوبة «فنتورى» ذو قطر مساو لقطر الماسورة التى يراد قياس التدفق بها وأن محور الأنبوبة على امتداد محور الماسورة .

– أن قطر فتحات الضغط عند المدخل لا يتعدى $\frac{١}{١٠}$ قطر مقطع المدخل ، وأن قطر فتحات الضغط لا يتعدى $\frac{١}{١٠}$ قطر الرقبة .

وبالإضافة إلى ما سبق يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع حدوث أى تلف أو صدأ بالأنبوبة من الداخل لأن ذلك يؤثر على دقتها . وكذلك يجب اتخاذ الإجراءات

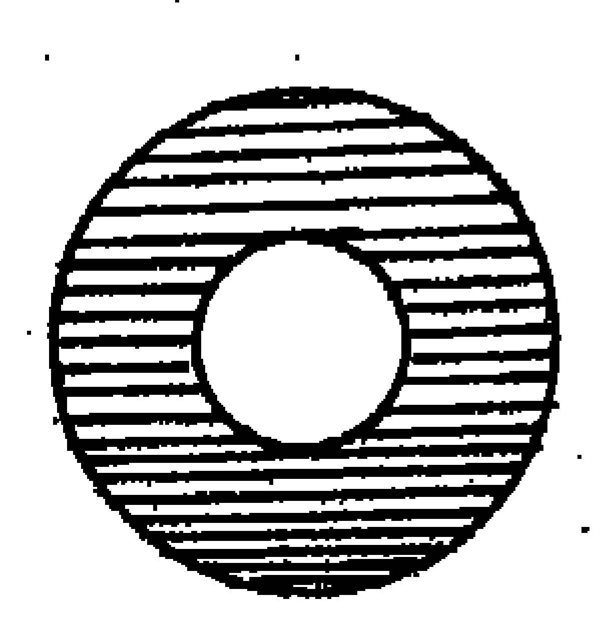
اللازمة لكى لا يكون أى جزء من مادة الوصل المستعملة بارزاً داخل الأنبوبة وكذلك لا يكون بالأنبوبة ذاتها أى بروز ناتج عن التصنيع .

الألواح ذات الفتحات :

يعتبر اللوح ذو الفتحة من أقدم الوسائل المستخدمة فى قياس التدفق ، وقد استخدمت لأول مرة فى عهد الرومان كوسيلة للتحكم فى كمية الماء الموزعة إلى المجارى المائية المختلفة ثم استخدمت بعد ذلك لقياس تدفق الماء من خزان كبير إلى آخر وهى تستخدم الآن فى قياس تدفق الموائع فى المواسير.

وأبسط نوع من الألواح موضح بالشكل رقم (٦٧) وهو عبارة عن لوح معدنى رقيق به فتحة دائرية ذات حد قائم وهذه الفتحة مرتبة بحيث تكون متحدة المحور مع الماسورة .

وعند قياس تدفق الموائع القذرة ، أو التى تحتوى على مواد صلبة ، فإن الفتحة توضع بحيث تكون حافتها السفلية منطبقة على القاع السفلية الداخلية للماسورة ، وبذلك فإنها تسمح للمواد الصلبة بالمرور ، دون عائق ، وقد كان المعتاد فى هذه الحالة أن توضع مآخذ الضغط عند نقطة مقابلة قطرياً للنقطة التى تتطابق فيها الفتحة مع الماسورة غير أنه وجد فى الممارسات الحديثة أن ذلك ليس ضرورياً ، والآن فإنهما توضعان على الجوانب لأن الهواء المحبوس فى السائل يؤدى إلى خطوط نبضية فى قمة الماسورة . ويدخل اللوح فى الخط الرئيسى للمائع بين شفتين متجاورتين .



شكل رقم (٦٧)
لوح ذو فتحة

ويمكن استخدام اللوح ذى الفتحة لقياس تدفق الغازات أو السوائل أو الأبخرة غير أنه بالنسبة للسوائل القابلة للانضغاط فإن قيمة انخفاض الضغط بالمليمتر ماء (مقياس) يجب ألا تتعدى ١٤٩٣ مرة القيمة العددية لضغط مصعد التيار مقدرة بوحدة نيوتن / م٢ (مطلق) . ولا تصلح هذه الوسيلة لقياس تدفق الموائع اللزجة أو لقياس التدفق الحرج . وعندما يستخدم اللوح ذو الفتحة مع مآخذ فى الشفة فإن أدنى قطر داخلى للماسورة يكون ٥٠ مم وأدنى قطر للفتحة هو ٥ مم . وهى تصلح بصفة عامة ، لقياسات لنسب مساحات من صفر إلى $\frac{1}{2}$ وأرقام «رينولدز» ابتداء من ١٠٠٠ فأكثر لمواسير ذات أقطار من ٢٥ إلى ٥٠ مم . ونسبة مساحات من صفر إلى ٠,٧ وأرقام رينولدز من ٢٠٠٠٠ فأكثر لمواسير ذات أقطار ٥٠ مم وأكبر .

ويصنع اللوح عادة من الصلب الذى لا يصدأ أو معدن مونل أو معدن البنادق وقد استعملت أيضاً بالنسبة للموائع المسببة للصدأ ، ألواح من الأبونيت وغيره من المواد غير المعدنية ، ومن الضرورى ألا تصدأ مادة اللوح بواسطة المائع المقيس وإلا فإن حافة الفتحة سوف تصير مدورة بدرجة تؤثر على كل من خصائص التدفق ودقة القياس .

٦/٣/٢ طرق المساحة وعلو الضغط الثابت :

من المعلوم أنه بالنسبة لتجهيزات معينة يكون التدفق عبر العنصر الرئيسى ثابتاً إذا تم تثبيت كل من مساحة هذا العنصر والضغط الفرقى خلاله . ويستخدم هذا المبدأ كأساس لعمل العداد القمعى ومعاير التدفق ومنسوب التدفق الثابت . وقد استخدم العداد القمعى ومعاير التدفق كأئمة تشغيل لاختبار عداد الإزاحة ذى السعات الكبيرة المستخدمة فى قياس تدفق الغاز وذلك فى مواقع استخدامها . وعندما يستخدمان كجهازى معايرة فإنه يتم توصيلهما بمخرج عداد إزاحة ويصرفان فى الهواء .

ويتكون العداد القمعى من مجموعة من الفتحات فى لوح يقع فى نهاية خزان أو فى النهاية الواسعة لقمع . وتقوم الفتحات بالتصريف فى الهواء . ويظل الضغط الفرقى عبر

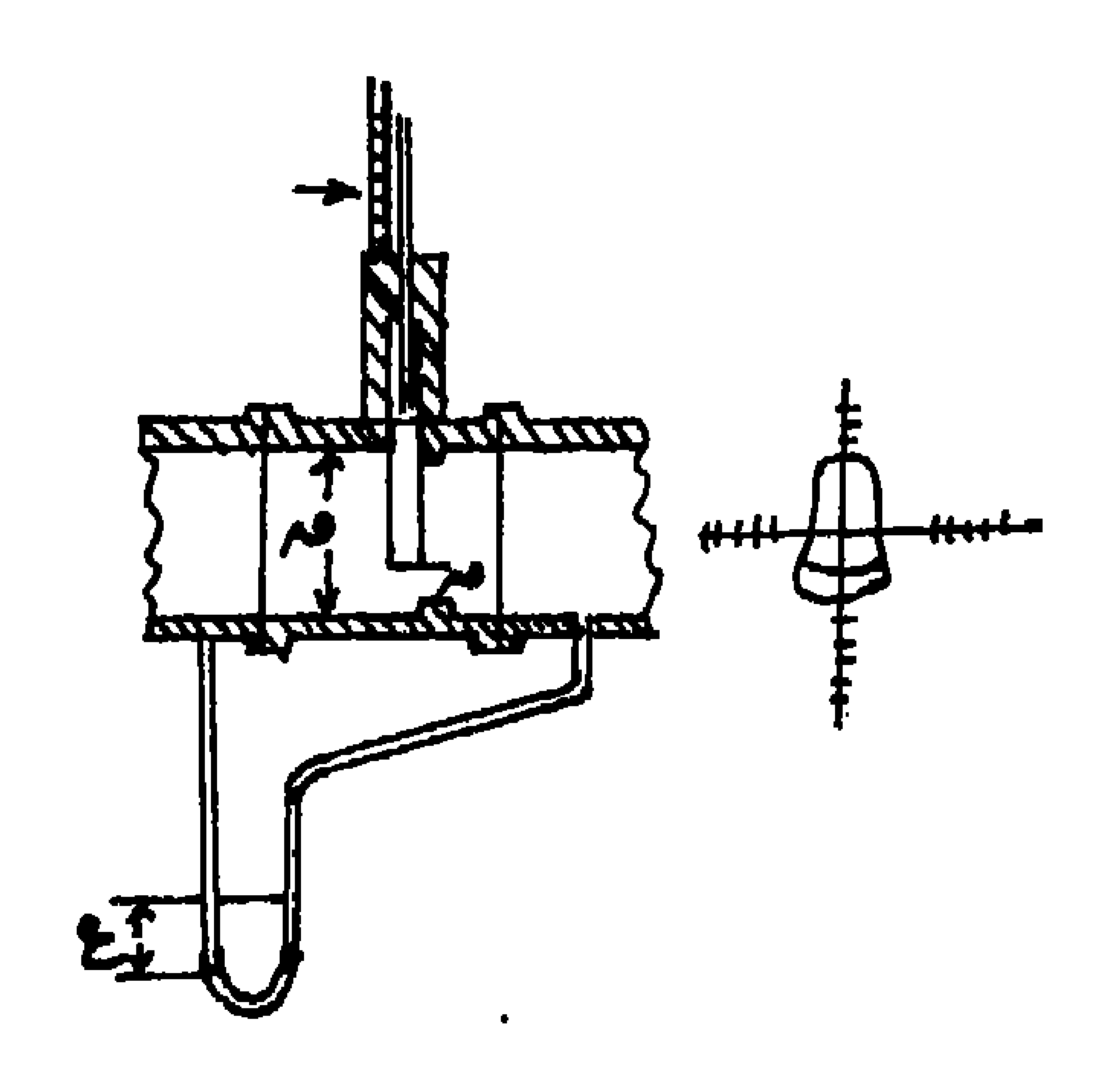
العداد ثابتاً طوال الاختبار ، ويتم التحكم فى معدل التدفق بعدد الفتحات المفتوحة بينما يتم إغلاق باقى الفتحات بواسطة سدادات من الكاوتش . ويفترض أن خصائص التدفق للعداد واحدة بغض النظر عن عدد الفتحات المفتوحة ، ويمكن استخدام المعادلة العامة لعداد الفتحة لحساب معدل التدفق غير أنه من المعتاد أن يتم حساب الضغط الفرق الذى يجب استخدامه من معادلة تجريبية تشمل الوزن النوعى للغاز وضغطه . ومعاير التدفق عبارة عن نوع مطور من العداد القمعى فهو يتكون من شفتين لعدادات الفتحة مزودتين بمقاطع دخول وخروج طولها يتراوح بين (٨–١٠) أمثال قطر الماسورة . ويمكن أن يركب بين هاتين الشفتين عدد من الفتحات التبادلية ذات المقاسات المختلفة ، ويقاس الضغط الفرق عبر الفتحة بواسطة مانومتر ، ويتم معايرة كل فتحة تحت ضغط فرق يحسب من معادلة تجريبية ، بغاز معلوم الكثافة ويتم تثبيت معدل التدفق الاسمى . ويمكن استخدام الجهاز بعد ذلك لمراجعة أية تجهيزات لعداد تدفق الغاز . ويتكون عداد « التدفق من مستوى ثابت » من وعاء به فتحة فى أسفله يتدفق منها السائل الموجود بالخزان ويحافظ على أن يكون علو ضغط السائل ثابتاً وذلك بأية طريقة مناسبة ، وبذلك فإن التدفق عبر الفتحة يظل ثابتا طالما أن هذه الفتحة لم تتآكل أو تصير قذرة .

٦ / ٣ / ٣ طرق المساحة المتغيرة ، وعلو ضغط ثابت :

٦ / ٣ / ٣ / ١ عداد الحاجز المتحرك (البوابة) الشكل رقم (٦٨) :

تتغير مساحة الفتحة فى هذا العدد برفع أو إنزال البوابة يدوياً بواسطة محرك كهربائى متحكم فيه تلقائياً ، وتحرك البوابة بحيث تتم المحافظة على انخفاض ثابت فى الضغط عبر الفتحة ويقاس هذا الانخفاض فى الضغط بواسطة ماخذين على جانبى البوابة كما هو موضح بالشكل (٦٨) .

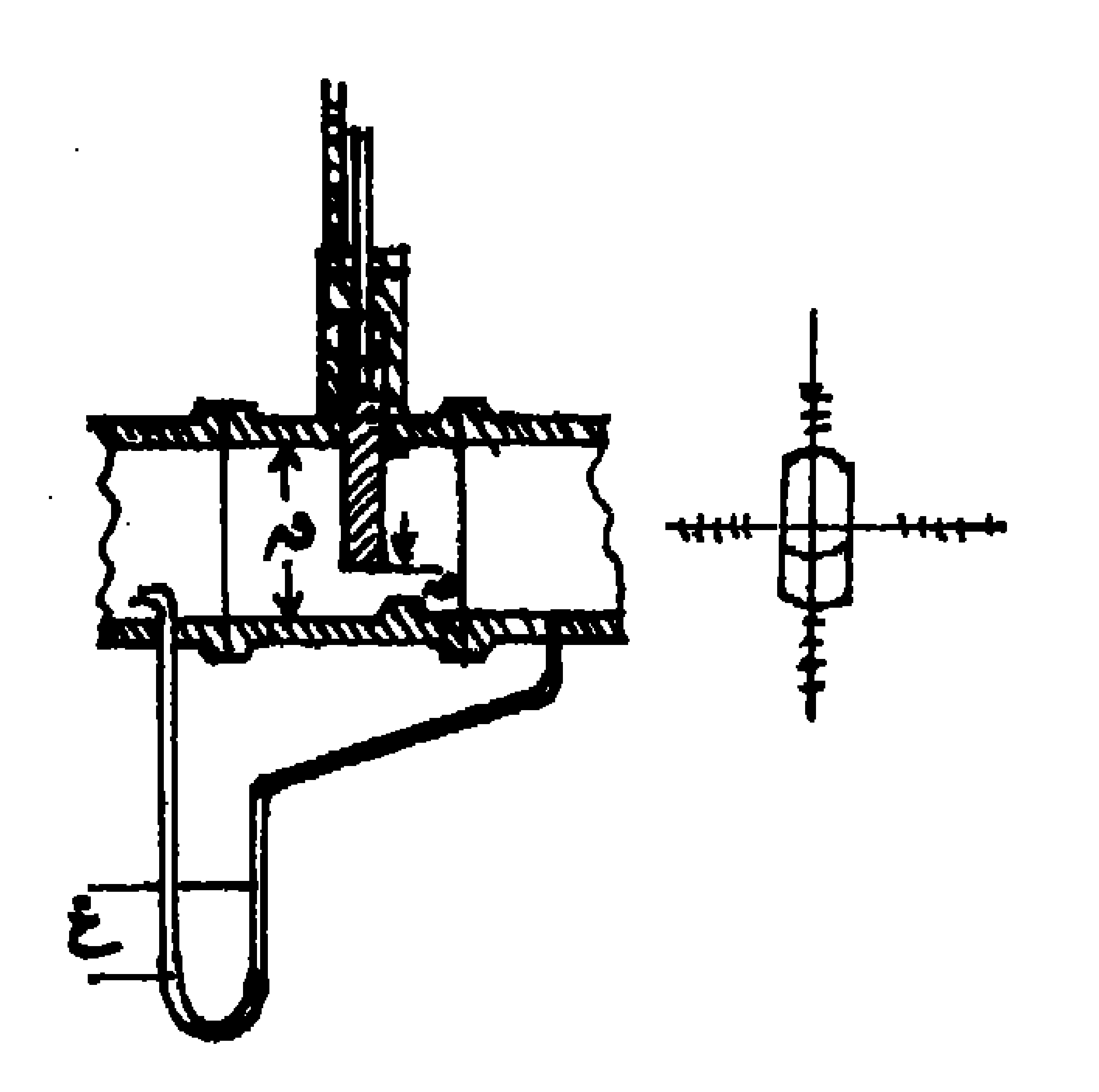
ويحدد موضع البوابة بواسطة تدريج . وعندما يزداد معدل تدفق المائع من الفتحة فإن الفتحة تزاد .



الشكل رقم (٦٨)

عداد الحاجز المتحرك (البوابة) .

ويمكن جعل التدفق عبر العداد معتمداً اعتماداً مباشراً على مساحة الفتحة لو أننا قمنا بقياس ضغط الدفع عند مأخذ مصعد التيار (كما فى الشكل ٦٨) بدلا من قياس الضغط الاستاتيكى المعتاد عند هذا المأخذ ، ويمكن إجراء ذلك بأن يكون ماخذ مصعد التيار على شكل أنبوبة طرفها المفتوح يواجه مصعد التيار مباشرة كما بالشكل (٦٩) ، أى أنها تعمل مثل أنبوبة «بيتوت» .



الشكل رقم (٦٩)

عداد الحاجز المتحرك مصححاً لسرعة الاقتراب .

٦ / ٣ / ٣ / ٢ عدادات التدفق ذات المساحة المتغيرة (الروتامترات) :

يتكون الروتامتر من أنبوبة طويلة مدرجة ومستدقة بانتظام ، والمقطع الصغير فى العادة يكون عند القاع ، ومحور الأنبوبة رأسى . وتوجد عوامة تتحرك بحرية داخل الأنبوبة . وهذه العوامة قد تكون على شكل كرة بسيطة أو على شكل شاغول . ويوجد بالأنبوبة دليل مركزى واحد أو عدد من الدلائل الحزية المشكلة بالأنبوبة تحافظ على إبقاء الثقل على محور الأنبوبة .

وعندما يزداد معدل التدفق فى العداد ، ترتفع العوامة فى الأنبوبة وبالتالى تزيد مساحة الحيز الحلقى ويظل الضغط الفرقى عبر العوامة عند قيمة معينة ثابتة .

وإذا كانت كثافة المائع بالكيلوجرام لكل متر مكعب هى $ث_{م}$ والكثافة للعوامة $ث_{ع}$ وحجمها $ح_{ع}$ فإنه ستكون هناك قوة مؤثرة على العوامة بسبب ميل المائع للالتصاق بسطوحها فى اتجاه التيار وبسبب لزوجة المائع غير أنه فى معظم الحالات تكون هذه القوة صغيرة ويمكن إهمالها ، لهذا فإن العوامة تكون متوازنة تحت تأثير ثلاث قوى ، وزنها ودفع السائل إلى أعلى ، والفرق بين القوى الواقعة على سطحيها العلوى والسفلى ، أما الضغط على السطح الأدنى (السفلى) فهو ضغط الدفع $ض_{١}$ (ق / م٢) للسائل المتدفق فى الحيز الحلقى بينما الضغط $ض_{٢}$ (ن / م٢) يؤثر على السطح العلوى سوف يكون الضغط الإستاتيكى فى مهبط التيار. وإذا كانت هى المساحة الفعالة للعوامة عموديًا على التيار ، فإن هذا الفرق فى ضغط يسبب قوة مقدارها $(ض_{١} - ض_{٢})$ أ نيوتن فى اتجاه التيار.

وزن العوامة = (فرق الضغط × المساحة الفعالة) + الدفع على العوامة

$$ج_{ع}\ ث_{ع}\ جـ = (ض_{١} - ض_{٢})\ أ + ج_{ع}\ ث_{م}\ جـ$$

وباستخدام هذه المعادلة والمعادلة الخاصة بسرعة المائع من الحيز الحلقى

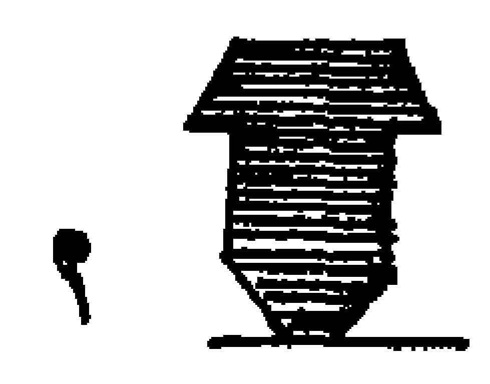
$ع^٢ = ٢ ج ل_٢$ فإنه يمكن إثبات العلاقة التالية :

$$ت_ح = ث أ_٢ \sqrt{\frac{٢ ج}{أ} ح_ع \frac{ث_ع - ث_م}{ث_م}} م^٣ / ث$$

حيث $ت_ح$ = التصرف الحجمى بالمتر المكعب فى الثانية الواحدة ، ح عجلة الجاذبية الأرضية

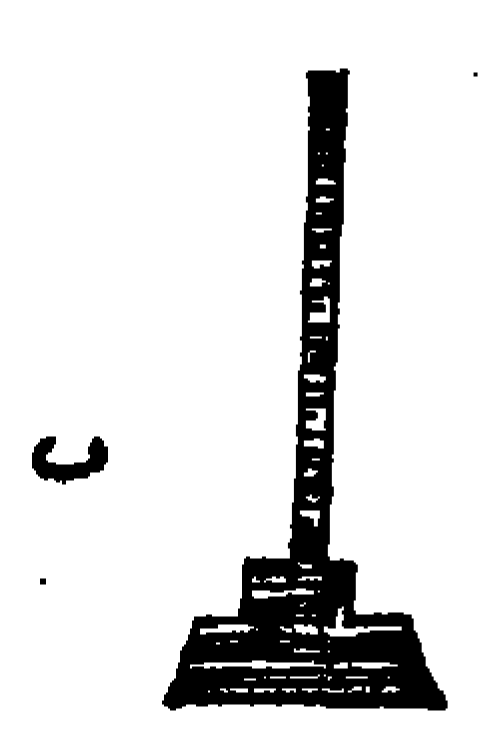
$$ت_ك = ث أ_٢ \sqrt{٢ ج \frac{ح_ع}{أ} (ث_ع - ث_م) ث_م} كجم/ث$$

حيث ث هو ثابت التصريف للجهاز ، ويعتمد على نمط التدفق داخل الأنبوبة ونمط التدفق يعتمد ، إلى حد كبير ، على كل من لزوجة المائع ومعدل تدفقه داخل الأنبوبة . وبالنسبة لعائم على شكل شاغول من الرصاص فإن معدل التصريف يزيد زيادة مطردة بزيادة رقم رينولدز حتى ٧٠٠٠ ثم يظل ثابتاً .



الشكل رقم (٧٠)

كل من أ ، ب. عوامة مصممة بحيث تقلل ميل السائل لحملها والتصميم ب أفضل من أ .



ويعطى عائم مثل ذلك الموضح فى شكل رقم (٧٠ أ) العداد قيمة ثابتة لمعامل التصريف لجميع أرقام رينولز أعلى من ٣٠٠ ، وباستخدام عائم كما هو موضح بالشكل (٧٠ ب) فإن ذلك يعطى العداد قيمة ثابتة لمعامل ث لجميع أرقام رينولدز أعلى من ٤٠ ، وهذا يعطى الجهاز ميزة كبيرة إذ أنها تعطى معايرة ثابتة لمدى كبير من التدفقات ومدى كبير من اللزوجة للمائع المقيس . وهذا يتيح بناء سلسلة من العدادات ذات مدى كبير دون حاجة لمعايرة كل منها نظراً لأن معامل التصريف لهذا النوع من التدفق يظل ثابتاً قيمته ٠,٦١ وعندما يستخدم هذا العائم فإن جسم العوامة الذى يعطى وزنها يكون خارج السائل المتدفق .

يتميز الروتامتر أيضاً بأنه يمكن إعداده ليعطى بياناً بوحدات الوزن التى لا تعتمد على التغييرات الطفيفة فى الوزن النوعى للسائل المقيس . وهذا ذو فائدة كبرى فى قياس السوائل البترولية وما يشابهها عندما يتغير الوزن النوعى فى حدود ضيقة .

ويمكن أن نرى من العلاقة الخاصة بالتصرف الكتلى ت ء ، أنه يعتمد على
√ (ث ع − ث م) ث م

فإذا كانت ث ع = ٢ ث م حينئذ تكون ث ع − ث م = ث م

وبالتالى فإنه بالنسبة للتغييرات الطفيفة فى ث ع فإن

(ث ع − ث م) ث م سوف يبقى ثابتاً إلى حد كبير ، حيث تعوض الزيادة فى ث ع بنقص مناظر فى ث ع − ث م . ولهذا فإنه عند قياس سائل بترولى وزنه النوعى حوالى ٠,٧٢) فى حالة وصنع العوامة من مادة وزنها النوعى ١,٤٤ فإن حاصل ضرب (ث ع − ث م) ث م سوف يبقى ثابتاً بدرجة معقولة لقيم ث م من ٠,٧٠ إلى ٠,٧٤ كما هو موضح بالجدول التالى :

ث م	(ث ع − ث م) ث م
٠,٧٠	٠,٥١٨٠ = ٠,٧٠ × ٠,٧٤
٠,٧٢	٥١٨٤ = ٠,٧٢ × ٠,٧٢
٠,٧٤	٥١٨٠ = ٠,٧٤ × ٠,٧٠

ويمكن عن طريق صنع عوامات من مواد مختلفة استخدام الروتامترات فى قياسات التدفق لعدد كبير من السوائل .

٤/٣/٦ عدادات علو الضغط المتغير والمساحة المتغيرة :

لكى يتم زيادة مدى عدادات التدفق التى تعتمد فى قياسها على الضغط الفرقى فإنه تم تطوير عداد يتم فيه قياس الضغط الفرقى عبر فتحة تتزايد مساحتها مع التدفق . وبهذه الطريقة فإنه أمكن قياس تدفقات تبلغ ١ / ١٠٠٠ من أقصى حد للعداد وبدقة أفضل من ± ١٪ .

المصطلحات الفنية

(إنجليزى – عربى)

Absorptive Power	قدرة الامتصاص
Absolute pressure	ضغط مطلق
Acceleration	عجلة (تسارع)
Acetone	أسيتون
Accuracy	دقة
Alloy	سبيكة
Amount of substance	كمية مادة
Angular Acceleration	عجلة (تسارع) زاوية
Angular momentum	كمية تحرك زاوى
Angular Velocity	سرعة زاوية
Annealing	تخمير (تلدين)
Average Velocity	سرعة متوسطة
Atmospheric pressure	ضغط جوى
Automatic Oprical Pyrometer	بيرومتر بصرى تلقائى
Baffle	حاجز (عارضة)
Barometer	مقياس الضغط الجوى
Base	أساس
Beckmann thermometer	ترمومتر «بكمان»
Bernoulli's theorem	نظرية «برنولى»
Bimetallic thermometer	ترمومتر ثنائى المعدن
Binding post	مربط توصيل

Black body radiation	إشعاع الجسم الأسود
Boiling point	نقطة الغليان
Bourdon tube	أنبوبة « بوردون »
Change of state thermometer	ترمومتر تغير الحالة
Cefficient of heat transfer	معامل انتقال الحرارة
Collapsible die	قالب قابل للطى
Complete immersion thermometer	ترمومتر
Concentration	تركيز
Conductivity	موصلية
Diaphragm	غشاء (رق)
Diaphragm pressure gauge	مقياس ضغط ذو غشاء
Differential pressure	ضغط فرقى
Diffusion coefficient	معامل انتشار
Displacement	إزاحة
Electric capacitance	مواسعة كهربائية
Electric conductance	مواصلة كهربائية
Electric potential	جهد كهربائى
Electrical resistance	مقاومة كهربائية
Emissive power	قدرة الانبعاث
Filament	فتيلة
Flow-meter prover	معاير مقياس التدفق
Flow nozzle	فوهة التدفق
Flow orifice meter	مقياس التدفق ذو الفتحة
Flow straightener	مقوم التدفق
Fluid	مائع
Flume	مسيل عريض منحدر
Fluted Spiral rotor	دوار حلزونى مخدد

Gas thermometer	ترمومتر الغاز
Gauge pressure	مدلول مقياس الضغط
Gearing ratio	نسبة التعشيق
Glass thermometer	ترمومتر زجاجى
Heat capacity	سعة حرارية
Hertz	هرتز
Hook's law	قانون « هوك »
Hygrometer	هيجرومتر
Hystersis	بطاء
Hystersis error	خطأ البطاء
Illuminance	استضاءة
Impregnate	يتشرب
Inclined limb manometer	مانومتر ذو ساق مائلة
International System	نظام دولى
Joule	جول
Latent heat	حرارة كامنة
Light train	قطار ضوئى
Limits of error	حدود الخطأ
Liquid steel	صلب سائل (مصهور)
Luminance	إضاءة
Luminous intensity	شدة إضاءة
Manual optical pyrometer	بيرومتر بصرى يدوى
Mass	كتلة
Mass flow rate	معدل تدفق كتلى
Metric Units	وحدات مترية
Moment of force	عزم القوة
Moment of Momentum	عزم كمية الحركة

Newton	نيوتن (وحدة قياس القوة)
Nutating disc	قرص مترنح
Ohm	أوم
Optical pyrometer	بيرومتر بصرى
Organic reaction	تفاعل عضوى
Orifice	فتحة
Orifice plate	لوح ذو فتحة
Oval gear	مسننة بيضاوية
Partial immersion thermometer	ترمومتر غمر جزئى
Pascale	بسكال
Phase	طور
Photo-electric	كهرو ضوئى
Pickling	معالجة فى حمام حمضى
Pitot tube	أنبوبة بيتوت
PLane angle	زاوية مستوية
Plug	صمام
Polarization	استقطاب
Precision	ضباطة
Pressure head	علو الضغط
Primary element	عنصر رئيسى
Priming pump	مضخة تحضير أولى
Pyrometer	بيرومتر
Pyrometric cone	مخروط بيرومترى (مخروط حرارى)
Radian	زاوية نصف قطرية (راديان)
Radiant energy	طاقة إشعاعية
Radiant flux	فيض إشعاعى
Radiation detector	مكشاف إشعاع

Radiation Pyrometer	بيرومتر الإشعاع
Radiation thermometer	ترمومتر الإشعاع
Range	مدى
Rate of flow meter	مقياس معدل التدفق
Readability	القابلية للقراءة
Reciprocating piston	مكبس ترددى
Repeatability	تكرارية
Reproduction	استعادة
Reservoir	خزان
Response	استجابة
Resistivity	مقاومية
Rotameter	روتامتر
Rotating impeller	دفاعة دوارة
Screw press	مكبس لولبى
S.I Units	وحدات النظام الدولى
Sliding valve	صمام منزلق
Sliding vane	ريشة منزلقة
Solid angle	زاوية مجسمة
Span	اتساع (امتداد)
Specific Volume	حجم نوعى
Spinning	تشكيل بالرحو
Standard	أمام - قياسى
Static error	خطأ استاتيكى
Steam flow	تدفق البخار
Steradian	(ستراديان)
Stop	مصد
Strain guage	مقياس انفعال

Stress	إجهاد
Substandard	مربط
Swirl	دوامة (حركة دوامية)
Swirl velocity	سرعة التدويم
Total immersion thermometer	ترمومتر غمر تام
Temperature compensator	معوض درجة الحرارة
Temperature scale	مقياس درجة الحرارة
Thermocauple	مزدوجة حرارية
Thermocauple junction	وصلة المزدوجة الحرارية
Thermocouple thermometer	ترمومتر المزدوجة الحرارية
Thermometer sheath	غلاف الترمومتر
Torque	عزم دوران
Travel	شوط
U-tube	أنبوبة شكل U
Vapor pressure	ضغط البخار
Venturi tube	أنبوبة « فنتورى »
Vernier manometer	مانومتر ذو ورنية
Wave number	عدد الموجة
Wein's law	قانون « فين »
Weir	سد
Wheatsone's Bridge	قنطرة « هويتسون »

المصطلحات الفنية

(عربى – إنجليزى)

اتساع	Span
إجهاد	Stress
إزاحة	Displacement
أساسية	Base
استجابة	Responce
استضاءة	Illuminance
استقطاب	Polarization
استعادة	Reproduction
إسيتون	Acetone
إشعاع الجسم الأسود	Black body radiation
إضاءة	Luminance
أنبوبة « بوردون »	Bourdon tube
أنبوبة « بيتوت »	Pitot tube
أنبوبة شكل	U-tube
أنبوبة « فنتورى »	Venturi tube
انفعال	Strain
أوم	Ohm
بسكال	Pascale
بصيلة	Bulb
بيرومتر	Pyrometer
بيرومتر الإشعاع	Radiation Pyrometer

Optical pyrometer	بيرومتر بصرى
Automatic oprical pyrometer	بيرومتر بصرى تلقائى
Annealing	تخمير (تلدين)
Steam flow	تدفق بخار
Spinning	تشكيل بالرحو
Ratational frequency	تردد دورانى
Repeatability	تكرارية
Thermocouple thermometer	ترمومتر المزدوجة الحرارى
Radiation thermometer	ترمومتر الإشعاع
Beckmann thermometer	ترمومتر « بكمان »
Expansion thermometer	ترمومتر التمدد
Change of state thermometer	ترمومتر تغير الحالة
Bimetallic thermometer	ترمومتر المعدن
Glass thermometer	ترمومتر زجاجى
Gas thermometer	ترمومتر غازى
Total immersion thermometer	ترمومتر غمر تام
Partial immersion thermometer	ترمومتر غمر جزئى
Complete immersion thermometer	ترمومتر غمر كلى
Organic reactions	تفاعلات عضوية
Concentration	تركيز
Repeatability	تكرارية
Spinning	تشكيل بالرحو
Thermistor	ثرموستور
Electric potential	جهد كهربائى
Joul	جول
Baffle	حاجز (عارضة)
Specific Volume	حجم نوعى

Limits of error	حدود الخطأ
Sensitivity	حساسية
Latent heat	حرارة كامنة
Reservoir	خزان
Error	خطأ
Hysteresis	خطأ البطاء
Static error	خطأ استاتيكي
Rotating impeller	دفاعة دوارة
Accuracy	دقة
Fluted Spiral rotor	دوار حلزوني مخدد
Swirl	دوامة (حركة دوامية)
Solid angle	زاوية مجسمة
Plane angle	زاوية مستوية
Radian	زاوية نصف قطرية (راديان)
Steradian	زاوية نصف قطرية مجسمة (ستراديان)
Responce time	زمن استجابة
Sliding vane	ريشة منزلقة
Rotameter	روتامتر
Alloy	سبيكة
Weir	سد
Swirl velocity	سرعةالتدويم
Angular velocity	سرعة زاوية
Average velocity	سرعة متوسطة
Heat capacity	سعة حرارية
Electric capacitance	سعة كهربائية
Luminous intensity	شدة إضاءة
Impregnate	شرّب

شوط	Travel
صلب سائل (مصهور)	Liquid steel
ضباطة	Precision
ضغط البخار	Vapor pressure
ضغط جوى	Atmospheric pressure
ضغط فرقى	Differential pressure
ضغط مطلق	Absolute pressure
طاقة إشعاعية	Radiant energy
طاقة حرارية	Heat energy
طاقة نوعية	Specific energy
طور	Phase
عجلة (تسارع)	Acceleration
عجلة زاوية	Angular acceleration
غشاء (رق)	Diaphragm
غلاف الترمومتر	Thermometer sheat
عداد معدل التدفق	Rate of flow meter
عدد الموجة	Wave number
عزم القوة	Moment of force
عزم دوران	Torque
عزم كمية الحركة	Moment of momentum
علو الضغط	Pressure head
عناصر رئيسية	Primary elements
فتحة	Orifice
عداد التدفق ذو الفتحة	Flow orifice-meter
فاعلية إشعاعية	Radioactivity
فتيلة	Filament
فرق جهد	Potential difference

Open hearth furnace	فرن الجمرة المكشوفة
Volt	فولت
Radiant flux	فيض (تدفق) إشعاعى
Flow nozzle	فوهة التدفق
Luminous flux	فيض ضوئى
Readability	قابلية القراءة
Collapsible die	قالب قابل للطى
Stefan Baltzmann law	قانون (ستيفان بولتزمان)
Wein's law	قانون «فين»
Hook's law	قانون «هوك»
Light train	قطار ضوئى
Funnel	قمع
Emissive power	قدرة الانبعاث
Absorptive power	قدرة الامتصاص
Nutating Disc	قرص مترنح
Weir	قنطرة احتجاز
Wheatsone bridge	قنطرة هويتستون
Mass	كتلة
Angular moment	كمية متحرك زاوى
Amount of substance	كمية مادة
Photo electric	كهرو ضوئى
Orifice plate	لوح ذو فتحة
Inclined limb manometer	مانومتر ذو ساق مائلة
Vernier manometer	مانومتر ذو ورنية
Fluid	مائع
Pyrometeric cone	مخروط بيرومترى
Gauge pressure	مدلول مقياس الضغط

Range	مدى
Substandards	مرابط
Thermocouple	مزدوجة حرارية
Oval gear	مسننات بيضاوية
Flume	مسيل (عريض منحدر)
Stop	مصد
Priming pump	مضخة تحضير أولى
Pickling	معالجة فى حمام حمضى
Diffusion coefficient	معامل انتشار
Coefficient of heat transfer	معامل انتقال الحرارة
Discharge coefficient	معامل التصريف
Flow meter prover	معاير مقياس التدفق
Mass flow rate	معدل تدفق كتلى
Temperature compensator	معوض درجة الحرارة
Electrical resistance	مقاومة كهربائية
Resistivity	مقاومية
Strain gauge	مقياس الانفعال
Temperature scale	مقياس درجة الحرارة
Barometer	مقياس الضغط الجوى
Diaphragm pressure gauge	مقياس الضغط ذو الغشاء
Flow straightener	مقوم التدفق
Reciprocating Piston	مكبس ترددي
Rotating piston	مكبس دوار
Screw press	مكبس لولبى
Radiation detector	مكشاف الإشعاع
Bellows	منفاخ
Electric conductance	مواصلة كهربائية

Conductivity	موصلية
Gearing ratio	نسبة التعشيق
International system (SI)	نظام دولى
Bernoulli's theorem	نظرية (برنولى)
Boiling point	نقطة الغليان
Newton (force unit)	نيوتن (وحدة القوة)
Hertz	هرتز
Hygrometer	هيجرومتر (مقياس الرطوبة)
Metric units	وحدات مترية
SI units	وحدات النظام الدولى
Thermocouple Junction	وصلة المزدوجة الحرارية

المراجع الأجنبية

1. E.B. Jones. Instrument Technology. Vol 1 "measurement of Pressure, Level. Flow and Temperature" 3rd edition Newnes-Butterworths (1972).

2. M.B. Moore. Theory and Application of Mechanical Engineering Measurements. (1972).
Robert Krieger Publishing Co. New York.

3. Fribance. Industrial Instrumentation Fundamentals (1962).
Mc Graw-hill.

4. ASME PTC 19.3-1974 "Temperature Measurement".

5. W.G. Andrew Applied Instrumentation in the Process Industries Vol. 1: A Survey (1974).
Gulf Publishing Company, Houston, Texas U.S.A.

6. NBS Special Publication 420 (1975) 'The international Bureau of Weights and Measures 1875-1975".

7. NBS Special Publication 304 A (Reissued 1974) "Brief History of Measurement Systems".

8. Bendict Fundamentals of Temperature Pressure and Flow Measurements (1969) J. Wiley.

9. The Society of Manufacturing Engineers. Handbook of Industrial Metrology 1967.

10. D.M. considine "Handbook of Applied Instrumentation".

11. Revista de normalizacion Y metrologia-Cuba. No. III N 1 ENERO-MARZO 1973.
"Masas Y Medidas En El Antiguo Egipto",-Hamdy El Dosokey.

المراجع العربية

أساليب وأجهزة القياس فى الهندسة الميكانيكية تأليف : ر. ج سوينى ، ترجمة د . أحمد عباس الشربينى .

رقم الإيداع	١٩٧٨/٢١٨٤
الترقيم الدولى	ISBN ٩٧٧ - ٢٤٧ - ١٩٦ - ٥

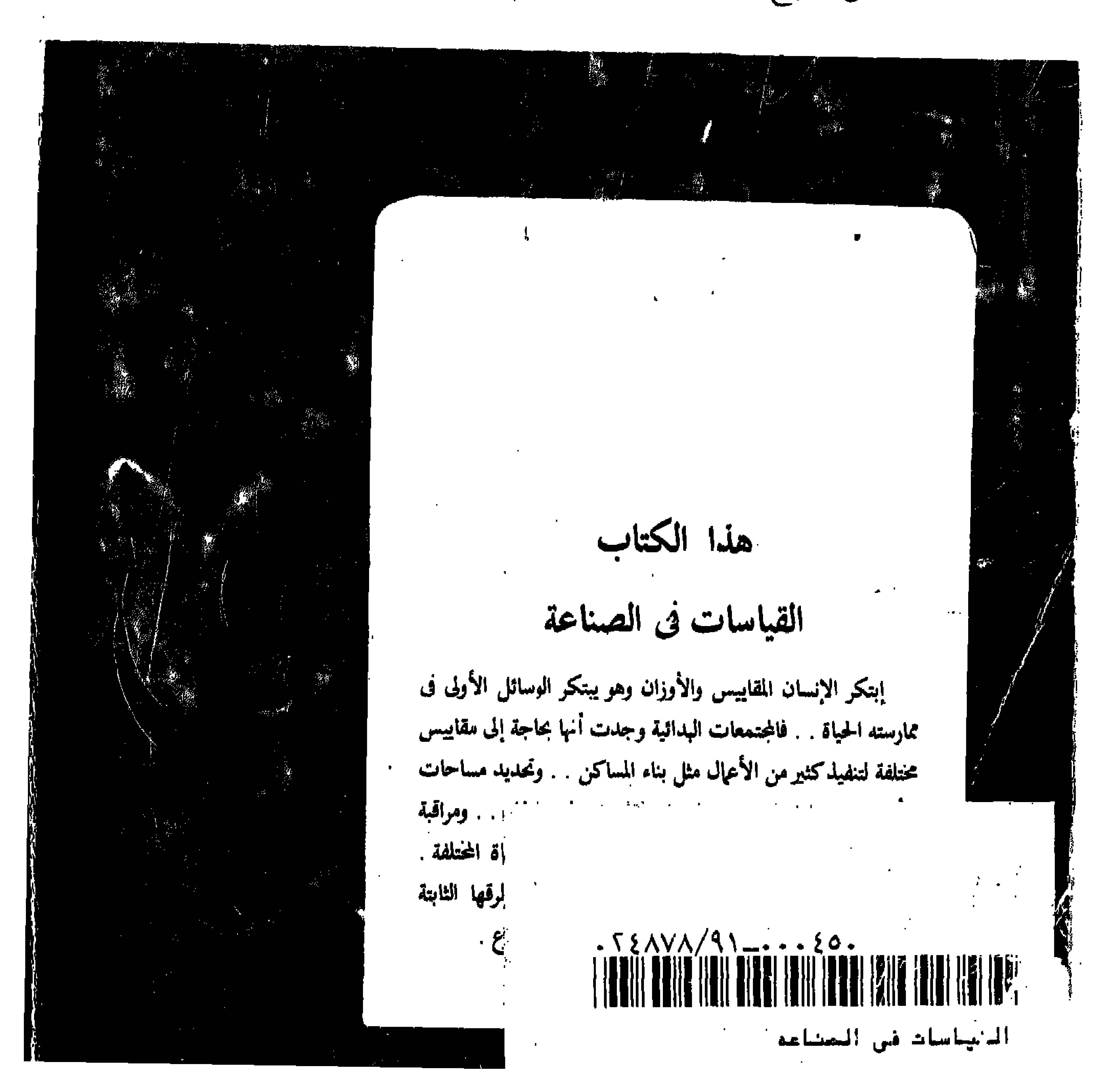
١٢٨/٧٧/ق

طبع بمطابع دار المعارف (ج.م.ع.)

٣

يصدر فى هذه السلسلة :

- الغازات الصناعية — المهندس سعيد عبد الغفار
- الآلات الكهربائية ووقايتها — المهندس زكريا عبود أمين
- القياسات فى الصناعة — حمدى يس الدسوقى
- الأفران الصناعية — المهندس سعيد عبد الغفار
- تآكل المعادن — المهندس عادل شلش
- تشكيل الألواح المعدنية — المهندس محمد كمال الطيب



هذا الكتاب

القياسات فى الصناعة

إبتكر الإنسان المقاييس والأوزان وهو يبتكر الوسائل الأولى فى ممارسته الحياة . . فالمجتمعات البدائية وجدت أنها بحاجة إلى مقاييس مختلفة لتنفيذ كثير من الأعمال مثل بناء المساكن . . وتحديد مساحات . . . ومراقبة . . . اة المختلفة . . . لرقها الثابتة . . . ع .

٠٢٤٨٧٨/٩١ــ٠٠٠٤٥٠

القياسات فى الصناعة